LE FROID, LA 'CLIM', LE SOLAIRE THERMIQUE, LES POMPES À CHALEUR AIR/AIR, AIR/EAU ET EAU/EAU EXPLIQUÉS AUX DÉBUTANTS

Patrick KOTZAOGLANIAN

manuel énerbase

4e EDITION

PRÉSENTATION

Il existe de nombreux ouvrages traitant de la thermodynamique et de la technologie des circuits frigorifiques et des pompes à chaleur air/eau ou eau/eau.

Si vous avez des difficultés pour exploiter pleinement ces ouvrages, ce manuel a été spécialement conçu pour vous.

De la même manière, si de nombreuses informations vous semblent peu compréhensibles sur les notices techniques des constructeurs, *ce manuel pourra encore une fois vous aider.*

Rassurez-vous, nous n'allons pas passer notre temps à faire de la physique, des calculs compliqués et je ne sais quoi d'autre. Nous allons tout simplement *observer* ce qui se passe autour de nous et exploiter les phénomènes physiques de notre vie quotidienne : l'ébullition de l'eau, la cocotte minute, la pompe à vélo, la buée sur la vitre, l'alambic, l'éponge, etc.

L'objectif de la première partie de ce manuel est d'analyser le circuit frigorifique d'un réfrigérateur afin de comprendre son fonctionnement. Comme vous en possédez sûrement un, vous pourrez plus facilement l'observer, le toucher et repérer ses différents composants.

Ensuite, nous pourrons analyser le fonctionnement des différents climatiseurs du marché (froid seul, réversible, froid seul Inverter et Réversible Inverter), afin d'être capable de les installer, de les entretenir et de les dépanner.

Nous pourrons alors nous initier aux bases de l'hydraulique afin d'étudier le fonctionnement des pompes à chaleurs aérothermiques et géothermiques qui sont de plus en plus utilisées.

La première édition de ce Manuel (1999) avait 264 pages.

La seconde édition (2005) avait 404 pages.

La troisième édition (2010) avait 664 pages.

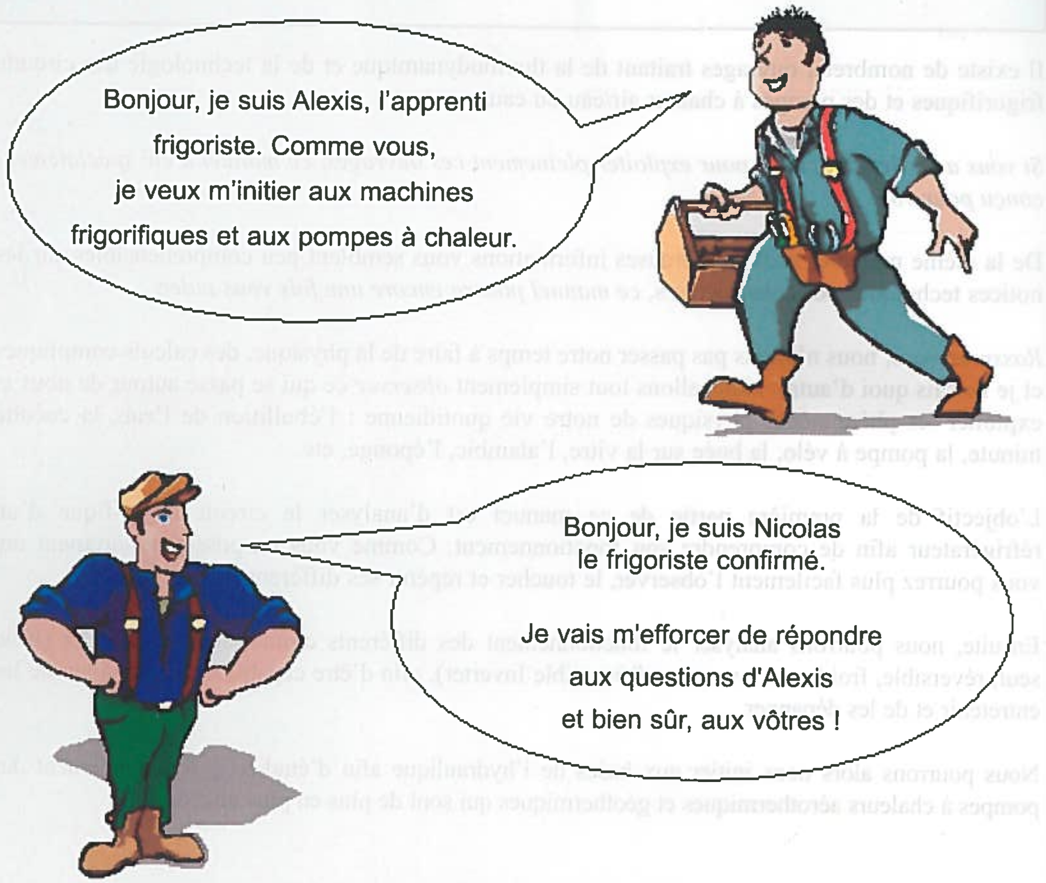
Cette quatrième édition entièrement réactualisée compte 754 pages

Vous pourrez également vous perfectionner en étudiant le manuel du dépanneur (1387 pages en couleurs) écrit par le même auteur et qui est la suite de ce manuel (descriptif en fin d'ouvrage).

Vos remarques et suggestions sont les bienvenues.

Pour nous joindre, voir nos coordonnées (Internet, Email et téléphone) au dos de la couverture du manuel.

Vous serez accompagné dans la première partie de votre apprentissage par deux personnages : un apprenti frigoriste et un professionnel confirmé.



A présent, à vous de jouer. Surtout, *n'allez pas trop vite* et prenez bien le temps de réfléchir. N'hésitez pas à relire un chapitre si certaines choses vous semblent difficiles à comprendre : *vous serez récompensé !*

Bon apprentissage, et vous verrez que ce n'est pas si difficile que ça de maîtriser la " clim de confort " et les pompes à chaleur quand on en a la volonté.

SOMMAIRE

Le réfrigérateur, introduction 11
Exercice de synthèse n°1 (5 questions) *19*
Le phénomène d'ébullition 20
Exercice de synthèse n°2 (8 questions) *30*
L'eau bout-elle toujours à 100°C ? 31
La relation Pression - Température 35
Pression relative et pression absolue 42
Exercice de synthèse n°3 (10 questions) Nouveau *45*
L'eau est-elle un bon fluide frigorigène ? 46
Le fluide frigorigène R410A 48
La relation pression-température du R410A 53
Les manomètres du frigoriste : *exercice* *55*
L'évaporation du R410A 55
Exercice de synthèse n°4 (10 questions) Nouveau *60*
Que se passe-t-il dans l'échangeur froid (le freezer) ? 64
Exercice de synthèse n°5 (8 questions) *67*
Le phénomène de condensation 68
Le rôle du compresseur 73
Fonctionnement du compresseur à pistons 76
Exercice de synthèse n°6 (10 questions) Nouveau *80*
Le rôle du détendeur 81
Exercice de synthèse n°7 (11 questions) *92*
Le cycle frigorifique 93
Exercice (repérage des composants du circuit) *96*
Exercice (les différents états du fluide dans le circuit) *97*
Exercice de synthèse n°8 (10 questions) *103*
Du réfrigérateur au climatiseur 104
Le climatiseur monobloc 109
Exercice (repérage des composants du climatiseur) *103*
Le panneau de commande du climatiseur 113
Exercice de synthèse n°9 (9 questions) *120*
Le climatiseur split système 121
Exercice de synthèse n°10 (8 questions) Nouveau *127*
Le compresseur à pistons : fonctionnement normal 128
Le condenseur à air : fonctionnement normal 130
Exercice de synthèse n°11 (10 questions) Nouveau *143*
Le condenseur à air : les différents Delta T 146
Exercice (Pressions et températures en différents points du circuit) *149*
Le détendeur capillaire : fonctionnement normal 152
Évolution du fluide à l'intérieur du capillaire 158
Exercice de synthèse n°12 (8 questions) *159*
L'évaporateur : fonctionnement normal 161
L'évaporateur : les différents Delta T 169
Exercice (Pressions et températures en différents points du circuit) *171*
Exercice de synthèse n°13 (9 questions) *173*
Circuit complet : fonctionnement normal 174
La notice technique : généralités 176

La notice technique : les puissances
- Température sèche et température humide ... 178
- La puissance frigorifique ... 182
- La puissance de déshumidification ... 184
- La puissance calorifique ... 188
- La puissance absorbée par le compresseur ... 189
- ***Exercice de synthèse n°14 (8 questions)*** ... 190

La notice technique : l'unité intérieure
- Références et différents types d'unités ... 191
- Dimensions, poids, tension, intensité et puissance électrique ... 194
- La commande à distance ... 195
- Les modes de fonctionnement ... 197
- Le niveau sonore ... 199
- Les ventilateurs ... 200
- Les filtres ... 201

La notice technique : l'unité extérieure
- Les références ... 202
- Tension, Intensité et puissance électrique ... 203
- Les compresseurs rotatifs ... 204
- Fonctionnement du compresseur rotatif ... 205
- Le réfrigérant à utiliser ... 206
- L'huile frigorifique à utiliser ... 207
- ***Exercice de synthèse n°15 (9 questions)*** Nouveau ... 208

Les divers raccordements
- Les tubes de qualité frigorifique ... 209
- Les raccords frigorifiques 'Quick' ... 210
- Les raccords frigorifiques 'Flare' ... 212
- Confection des dudgeons ... 213
- Les liaisons frigorifiques : diamètre, longueur et dénivelé ... 217
- Les problèmes de prédétente ... 218
- Les origines possibles d'une prédétente ... 219
- L'isolation des tuyauteries ... 221
- Faut-il isoler le tube liquide ? ... 222
- ***Exercice de synthèse n°16 (10 questions)*** ... 224

Installation du split-système
- L'installation de l'unité intérieure ... 225
- L'installation de l'unité extérieure ... 226
- Les liaisons ... 227
- L'utilisation des vannes de service ... 228
- L'utilisation des prises de pression ... 230
- Purge de l'air par la méthode de la chasse ... 234
- Purge de l'air par la méthode du tirage au vide ... 235
- Le montage des manomètres ... 236
- ***Exercice de synthèse n°17 (9 questions)*** ... 240

Le contrôle des conditions normales de fonctionnement
- Le montage des manomètres ... 241
- Pressions et températures de fonctionnement ... 242
- Le démontage des manomètres ... 244
- ***Exercice de synthèse n°18 (13 questions)*** Nouveau ... 247

Les symptômes d'un dysfonctionnement
- Interprétation d'une surchauffe trop faible ou trop élevée ... 249
- Interprétation d'un sous refroidissement trop faible ou trop élevé ... 251

- ***Exercice de synthèse n°19 (10 questions)*** ... 253

Problèmes soulevés par les nouveaux fluides frigorigènes
- Problèmes généraux posés par les HFC sur les installations neuves ... 254
- Explication du glissement ... 258
- Surchauffe avec le R407C ... 259
- ***Exercice de synthèse n°20 (10 questions)*** ... 262
- Sous refroidissement avec le R407C ... 263
- ***Exercice de synthèse n°21 (5 questions)*** ... 265
- Quelques compléments d'information sur le R410A ... 266

Interprétation d'une basse pression anormalement faible ... 269

La panne de la prédétente
- Analyse de la panne ... 270
- Explication des symptômes ... 271
- Quelques exemples de pannes (aspect pratique) ... 273
- Méthodologie du diagnostic Nouveau ... 275

La panne du détendeur trop petit
- Analyse de la panne ... 276
- Explication des symptômes ... 277
- Quelques exemples de pannes (aspect pratique) ... 279
- Méthodologie du diagnostic Nouveau ... 281

La panne du manque de fluide
- Problème des fuites : que dit la réglementation ? Nouveau ... 282
- Analyse de la panne ... 284
- Explication des symptômes ... 285
- Quelques exemples de pannes (aspect pratique) ... 287
- Méthodologie du diagnostic Nouveau ... 288

La panne de l'évaporateur trop petit
- Analyse de la panne ... 289
- Explication des symptômes ... 290
- Quelques exemples de pannes (aspect pratique) ... 292
- Méthodologie du diagnostic Nouveau ... 294
- ***Exercice de synthèse n°22 (8 questions)*** ... 295

Synthèse des pannes BP
- ***Exercice 1 : Manque de charge en fluide*** Nouveau ... 296
- ***Exercice 2 : Prédétente ligne liquide*** Nouveau ... 297
- ***Exercice 3 : Évapo trop petit (manque de débit d'air)*** Nouveau ... 300
- ***Exercice 4 : Détendeur trop petit*** Nouveau ... 301
- ***Exercice 5 : Évapo trop petit (encrassage)*** Nouveau ... 304
- ***Exercice 6 : Pas de panne*** Nouveau ... 305

La panne du condenseur trop petit
- Analyse de la panne ... 308
- Explication des symptômes ... 309
- Quelques exemples de pannes (aspect pratique) ... 310
- Méthodologie du diagnostic Nouveau ... 315

La panne de l'excès de charge
- Analyse de la panne ... 316
- Explication des symptômes ... 317
- Aspect pratique de la charge en fluide ... 318
- Méthodologie du diagnostic Nouveau ... 319

La panne des incondensables
- Influence des incondensables sur le circuit ... 320
- Comment les incondensables pénètrent-ils dans le circuit ? ... 321

Analyse de la panne ... 322
Explication des symptômes ... 323
Aspect pratique de la panne des incondensables ... 324
Méthodologie du diagnostic ... Nouveau ... 325

La panne du compresseur trop petit
Analyse de la panne ... 326
Explication des symptômes ... 327
Quelques exemples de pannes (aspect pratique) ... 328
Méthodologie du diagnostic ... Nouveau ... 329
Exercice 1 (Récapitulatif des principales pannes frigorifiques) ... *330*
Exercice de synthèse n°23 (10 questions) ... *331*

Synthèse des familles de pannes
Exercice 2 : Manque de charge en fluide (R410A) ... Nouveau ... *333*
Exercice 3 : Condenseur trop petit (encrassage) (R410A) ... Nouveau ... *335*
Exercice 4 : Prédétente ligne liquide (R407C) ... Nouveau ... *337*
Exercice 5 : Évapo trop petit (manque de débit d'air) (R410A) ... Nouveau ... *339*
Exercice 6 : Manque de charge en fluide (R407C) ... Nouveau ... *341*
Exercice 7 : Excès de charge ou incondensables (R407C) ... Nouveau ... *343*
Exercice 8 : Compresseur trop petit (R410A) ... Nouveau ... *339*

Le climatiseur réversible
Le fonctionnement 'été' ... 347
Le fonctionnement 'hiver' ... 349
Exercice 1 (utilisation de 2 capillaires) ... *350*
Quelques risques de pannes de la vanne à quatre voies ... 353
La bouteille anti-coups de liquide ... 357
Le filtre déshydrateur bidirectionnel ... 358
Exercice de synthèse n°24 (10 questions) ... *359*

Dépannages sur climatiseur réversible
Exercice 2 et 3 : Manque de charge et problème de dégivrage (R410A) ... Nouveau ... *360*
Exercice 2 et 3 : Excès de charge et compresseur trop petit (R410A) ... Nouveau ... *361*

Les moteurs monophasés
Généralités et schéma interne ... 364
Comment tester électriquement les moteurs et diagnostiquer un défaut ... 366
Les condensateurs de marche et de démarrage ... 368
Comment tester les condensateurs et diagnostiquer un défaut ... 371
Les systèmes de démarrage rencontrés en clim de confort ... 374
Exercice de synthèse n°25 (10 questions) ... *376*
Les moteurs multi-vitesses ... 377
Exercice (câblage complet d'un moteur à 3 vitesses) ... *378*

Variation de vitesse des moteurs
Quelques rappels en courant alternatif ... 382
Variation de vitesse par hachage de courant ... 383
Le redressement du courant alternatif ... 384
Principe de fonctionnement du système Inverter ... 389
Le compresseur Scroll ... 391
La platine Inverter ... 392
Exercice de synthèse n°26 (15 questions) ... *394*

Le détendeur électronique
Principe de fonctionnement et moteur pas-à-pas ... 395
Exercice 1 (Rôle des sondes de température de l'unité intérieure) ... *397*
Les avantages de l'Inverter ... 399
Les sondes de température CTP et CTN ... 400

Exercice de synthèse n°27 (11 questions) ... *401*
Exercice 2 (Diagnostic de panne selon des tableaux de tendance) ... Nouveau ... *402*

Le split Inverter 'Froid seul'
Exercice (Rôle de chaque sonde utilisée par l'appareil) ... *403*

Le split Inverter réversible'
Fonctionnement 'été'
Fonctionnement 'hiver' ... 407
Les sondes de température ... 408
Le dégivrage ... 409
Exercice de synthèse n°28 (9 questions) ... Nouveau ... *411*

La récupération du fluide frigorigène
La réglementation ... 413
Les bouteilles de récupération ... 414
Les groupes de transfert ... 415
Récupération du fluide en gaz ... 416
A quelle pression arrêter le groupe de transfert ? ... 418
Récupération du fluide en liquide ... 420
Problème des appoints de charge en fluide ... 421

Evolution de la réglementation sur les fluides frigorigènes
La mort annoncée des fluides HCFC ... 425
Contrôle de la capacité des professionnels ... 426
Contrôle de l'étanchéité des installations ... 427
Les connaissances théoriques et pratiques nécessaires ... 428
Durée des épreuves ... 431
Exercice (Recherche des erreurs dans des tableaux de tendance) ... Nouveau ... *434*

Étude d'un circuit hydraulique entre un château d'eau et des lavabos
Les vases communicants ... 435
Les unités, la pression statique ... 436
Notions de charge et de perte de charge ... 440
Rôle du débit et de la pression ... 443
Exercice de synthèse n°29 (10 questions) ... *446*

Le circuit hydraulique de remplissage du château d'eau
Les différents types de pompes ... 447
Amorçage et démarrage de la pompe de remplissage ... 450
Rôle de la crépine ... 451
Quelques pannes parmi les plus fréquentes ... 453
Les pompes multicellulaires ... 458
Exercice de synthèse n°30 (10 questions) ... *460*

Production d'eau chaude par un chauffe-eau électrique
Les accessoires du chauffe-eau et son raccordement ... 461
La solution de quelques problèmes électriques ... 465
Exercice de synthèse n°31 (10 questions) ... *470*

Production d'eau chaude par une chaudière murale gaz
Description et rôle des équipements internes ... 471
Les accessoires, les raccordements et le vase d'expansion ... 473
L'échangeur d'eau chaude sanitaire et les vannes 3 voies diviseuses ... 474
Les problèmes d'entartrage ... 477
Les collecteurs et le circuit des radiateurs ... 479
Quelques notions d'équilibrage ... 480
Quelques dépannages ... 482
Contrôleur de débit et robinet thermostatique ... 484

Exercice de synthèse n°32 (10 questions) Nouveau ... 486
Production d'eau chaude par un chauffe-eau solaire individuel (CESI)
Les divers accessoires et les raccordements ... 487
L'utilisation de l'eau glycolée ... 495
Les systèmes auto-vidangeables ... 496
Le problème des purgeurs automatiques ... 497
Les vases d'expansion ... 498
Exercice de synthèse n°33 (10 questions) Nouveau ... 502
Le fonctionnement en thermosiphon ... 503
L'emplacement de la pompe et sa régulation ... 505
Le réglage du vase d'expansion et la pression de remplissage du circuit ... 509
La régulation du système ... 520
Quelques dépannages ... 522
La production d'eau chaude sanitaire ... 527
Le chauffage d'appoint ... 529
Les erreurs d'installation à ne pas commettre ... 531
Exercice de synthèse n°34 (11 questions) ... 533
Production d'eau chaude par une pompe à chaleur aérothermique
Présentation d'une PAC air/eau et d'un plancher chauffant ... 535
Exercice 1 (réglage du vase d'expansion et de la pression de remplissage) ... 539
Problème du givrage de la batterie extérieure ... 542
Exercice 2 (le fonctionnement en chauffage et en dégivrage) ... 543
Le chauffage d'appoint et les diverses sécurités ... 546
Interprétation des indications de la plaque signalétique de la PAC ... 548
Relation entre puissance, débit et Delta T ... 549
Comment mesurer la HMT de la pompe ? ... 550
Courbe débit/pression des pompes ... 552
Exercice 3 (Évolution ds paramètres de fonctionnement) ... 552
Exercice de synthèse n°35 (10 questions) ... 555
Estimation des déperditions et de la puissance de la PAC ... 556
Problème des PAC surdimensionnées ... 560
Les échangeurs à plaques utilisés comme condenseur ... 561
Les bouteilles casse pression ... 561
Exercice 4 (raccordement de 2 circuits secondaires) ... 562
Exercice 5 (Pressions et températures du circuit frigo) ... 565
Exercice 6 (Alimentation d'un circuit plancher et d'un circuit radiateurs) ... 567
Les vannes 3 voies mélangeuses ... 570
Les courbes de chauffe ... 572
Les détendeurs thermostatiques ... 573
Les PAC équipées de 2 détendeurs thermostatiques ... 575
Exercice 7 (Utilisation d'un détendeur bi-flow) ... 577
Les techniques de dégivrage et de fin de dégivrage ... 580
Exercice 8 : PAC air/eau en fonctionnement normal (R410A) ... 582
Exercice 9 : PAC air/eau en manque de charge (R410A) ... 583
Exercice 10 : PAC air/eau en excès de charge (R410A) ... 584
Exercice 11 : PAC air/eau avec l'évaporateur encrassé (R410A) ... 586
Exercice 12 : PAC air/eau avec un manque de débit d'eau au condenseur (R410A) ... 587
Exercice 13 : PAC air/eau avec une panne de compresseur trop petit (R410A) ... 588
Exercice 14 : PAC air/eau avec une prédétente ou un détendeur trop petit (R410A) ... 589
Sélection du diamètre des tuyauteries et des pertes de charge ... 592
Exercice 15 (détermination des pertes de charge d'un circuit plancher) ... 593
Exercice 16 (même exercice avec des tubes en cuivre) ... 597

Exercice de synthèse n° 36 (10 questions) ... 601
PAC Aérothermiques : Dépannages de synthèse
Analyse de la PAC en fonctionnement normal Nouveau ... 602
Panne 1 : Manque de charge en fluide (R407C) Nouveau ... 604
Panne 2 : Détendeur trop petit (R407C) Nouveau ... 605
Panne 3 : Condenseur trop petit (encrassage) (R407C) Nouveau ... 610
Panne 4 : Compresseur trop petit (R407C) Nouveau ... 611
Panne 5 : Excès de charge ou incondensables (R407C) Nouveau ... 616
Panne 6 : Évaporateur trop petit (R407C) Nouveau ... 617
Panne 7 : Condenseur trop petit (manque de débit d'eau) (R407C) Nouveau ... 622
Panne 8 : Prédétente ligne liquide (R407C) Nouveau ... 623
PAC eau/eau avec capteurs horizontaux enterrés
Présentation du système ... 629
Exercice 1 (comment raccorder l'échangeur à plaque servant d'évapo ?) ... 631
Les échangeurs à plaques utilisés comme condenseurs et comme évaporateurs ... 632
Les différentes techniques de mesure d'un débit d'eau ... 633
Exercice 2 (Évaluation des débits d'eau) ... 634
Courbe de la perte de charge des échangeurs et courbe de la pompe ... 635
Exercice 3 (Pompes à courbe plate ou à courbe inclinée) ... 636
Comparaison et pannes des contrôleurs de débit à palette et des pressostats différentiels ... 637
PAC eau/eau sur plancher rafraîchissant ... 640
Exercice 4 (PAC eau/eau réversible) ... 641
PAC eau/eau avec sondes verticales enterrées
Présentation du système ... 643
Exercice 5 (Détermination des débits et des pertes de charge) ... 644
PAC Géothermiques : Dépannages de synthèse
Exercice 6 : Manque de charge en fluide (R407C) ... 649
Exercice 7 : Compresseur trop petit (R407C) ... 652
Exercice 8 : Évapo trop petit (manque de débit d'eau) (R407C) ... 653
Exercice 9 : Excès de charge ou incondensables (R407C) ... 658
Exercice 10 : Pas de panne, l'installation fonctionne correctement ... 659
Exercice 11 : Prédétente ligne liquide ou détendeur trop petit (R407C) ... 664
Exercice 12 : Condenseur trop petit (manque de débit d'eau) (R407C) ... 665
Exercice de synthèse n° 37 (11 questions) ... 670
Exercice de synthèse n° 38 (10 questions) ... 671
PAC eau/eau sur nappe phréatique
Présentation du système ... 672
Exercice 13 (Raccordements de la nappe sur l'échangeur à plaque) ... 673
Exercice 14 (Rajout d'un échangeur intermédiaire entre la nappe et l'évapo) ... 675
Conséquences de l'échangeur intermédiaire sur le COP de la PAC ... 678
Influence de la BP sur la puissance absorbée par le compresseur ... 680
Les risques de gel pendant la récupération du fluide frigorigène ... 981

Index alphabétique détaillé ... 683

Présentation du manuel du dépanneur en fin d'ouvrage

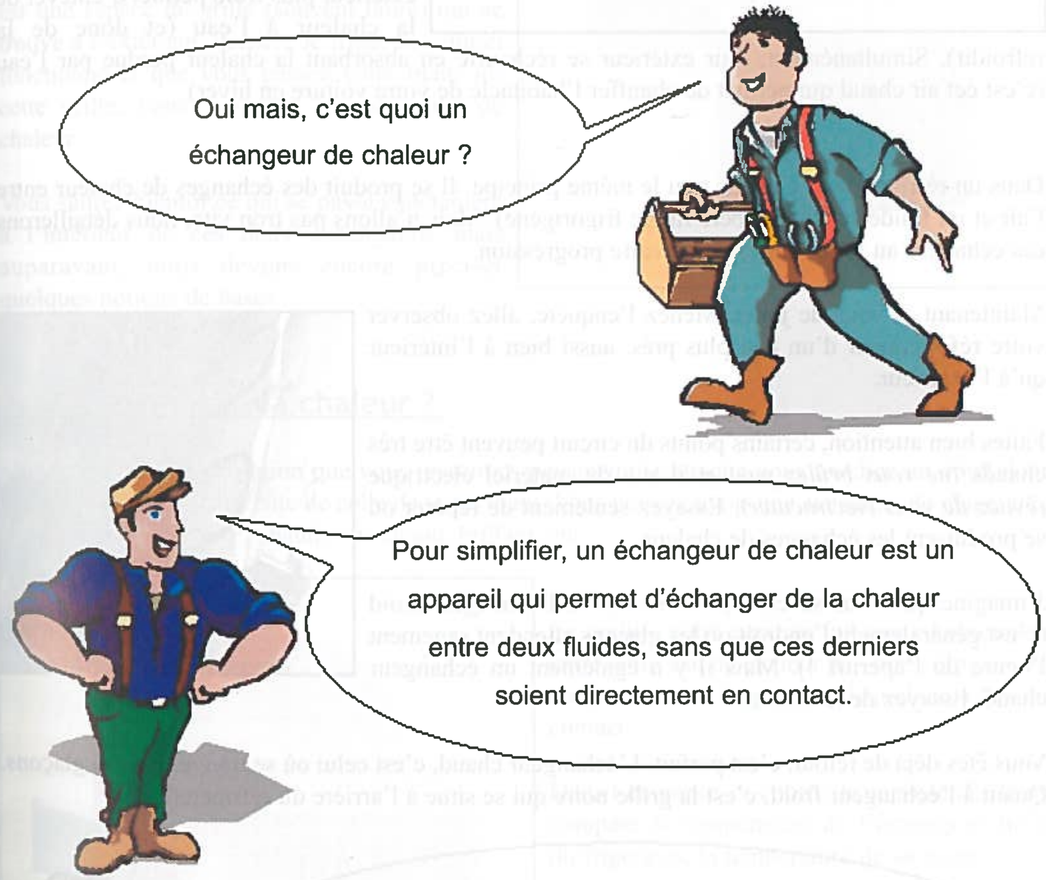
LE RÉFRIGÉRATEUR, INTRODUCTION

1. Le rôle du réfrigérateur :

Son rôle est de maintenir les aliments qu'il contient à une température suffisamment faible pour retarder le développement bactériologique et donc augmenter leur durée de conservation.

Pour ce faire, nous verrons que le réfrigérateur, *contrairement à ce que beaucoup de personnes pensent*, ne fabrique pas du froid, mais plutôt qu'il enlève, qu'il pompe de la chaleur ! En fait, il pompe de la chaleur à l'intérieur du frigo et la rejette à l'extérieur. Pour cela, le frigo est équipé de deux échangeurs de chaleur : l'un permet de l'absorber et l'autre de la rejeter.

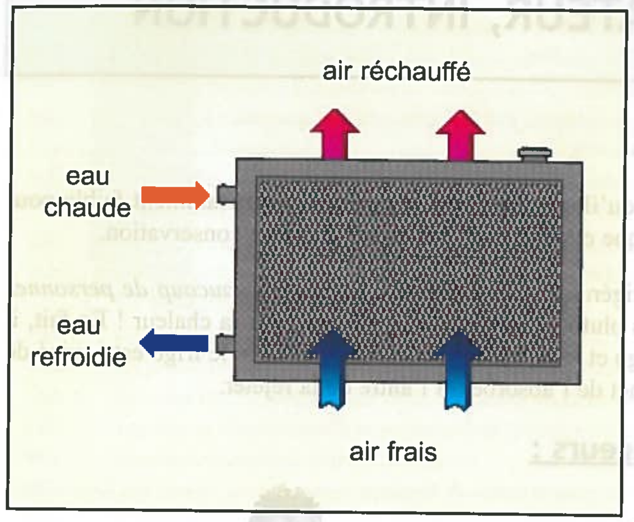
2. A la recherche des échangeurs :



Dans votre voiture, afin de maintenir l'eau qui refroidit le moteur à une température convenable, il y a un radiateur. Ce radiateur n'est rien d'autre qu'un échangeur de chaleur.

Au fait, savez-vous comment il fonctionne ?

En effet, le radiateur de votre voiture est un échangeur de chaleur.



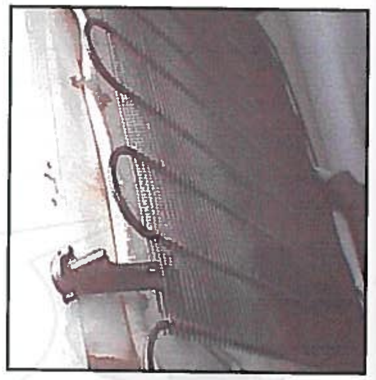
Il se produit un échange de chaleur entre l'eau chaude qui circule ***à l'intérieur*** du radiateur, et l'air plus frais qui circule ***à l'extérieur***.

Bien sûr, l'eau et l'air ne sont pas en contact direct sinon, c'est que votre radiateur est percé !

L'échange de chaleur entre l'eau chaude qui arrive du moteur et l'air extérieur plus froid permet d'enlever de la chaleur à l'eau (et donc de la refroidir). Simultanément, l'air extérieur se réchauffe en absorbant la chaleur perdue par l'eau (c'est cet air chaud qui permet de chauffer l'habitacle de votre voiture en hiver).

Dans un réfrigérateur, c'est un peu le même principe. Il se produit des échanges de chaleur entre l'air et un fluide spécial (appelé fluide frigorigène). Mais n'allons pas trop vite, nous détaillerons ces échanges au fur et à mesure de votre progression.

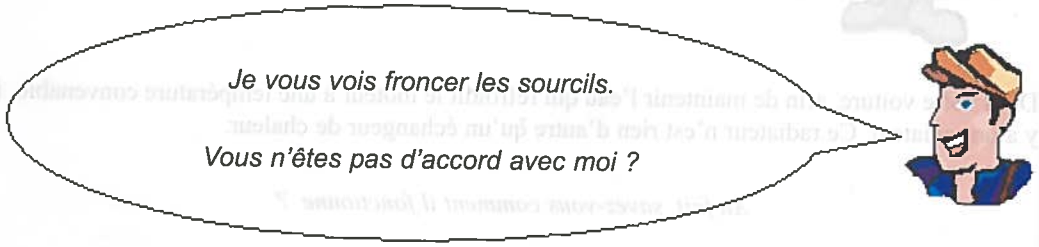
Maintenant, à vous de jouer. Menez l'enquête, allez observer votre réfrigérateur d'un peu plus près, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur.

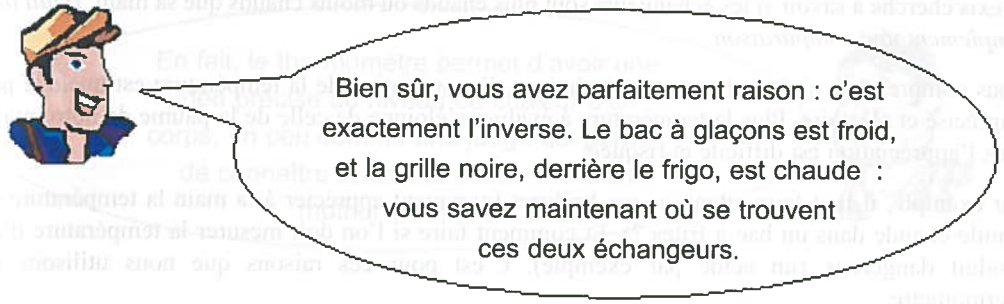


Faites bien attention, certains points du circuit peuvent être très chauds *(ne vous brûlez pas)* et il y a du matériel électrique *(évitez de vous électrocuter)*. Essayez seulement de repérer où se produisent les échanges de chaleur.

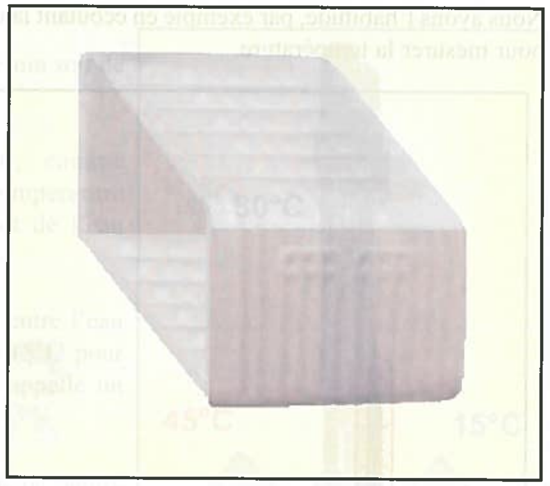
J'imagine que vous savez déjà où se trouve l'échangeur froid (c'est généralement l'endroit où les glaçons attendent sagement l'heure de l'apéritif !). Mais il y a également un échangeur chaud. Essayez de le trouver !

Vous êtes déjà de retour, c'est parfait. L'échangeur chaud, c'est celui où se trouve le bac à glaçons. Quant à l'échangeur froid, c'est la grille noire qui se situe à l'arrière du réfrigérateur.





L'échangeur froid représenté ci-contre se trouve à l'intérieur du frigo. Dans le langage courant, on l'appelle souvent le « freezer », bien que ce terme soit d'origine américaine.

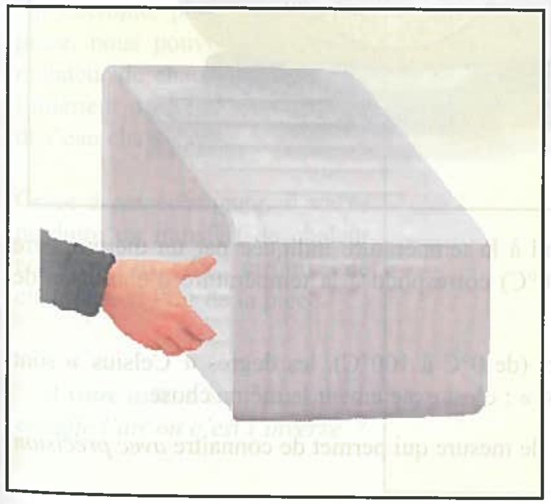


L'échangeur chaud, représenté page précédente, est une espèce de grille (souvent noire) qui se trouve à l'extérieur, derrière le frigo. Si celui-ci fonctionne et que vous passez votre main sur cette grille, vous ressentez une sensation de chaleur.

Vous saurez bientôt ce qui se passe exactement à l'intérieur de ces deux échangeurs, mais auparavant, nous devons encore préciser quelques notions de bases.

3. Qu'est-ce que la chaleur ?

La chaleur est une sensation que vous ressentez, par exemple lorsque vous touchez un objet dont la température est différente de celle de votre main. Vous pouvez avoir une sensation de glacé, très froid, froid, frais, tiède, chaud, très chaud, brûlant, etc.



En réalité, votre cerveau fait une comparaison entre le niveau de chaleur de votre corps (votre température) et l'objet avec lequel vous êtes en contact.

Dans l'exemple, ci-contre, le cerveau d'Alexis compare la température de l'échangeur froid du frigo avec la température de sa main.

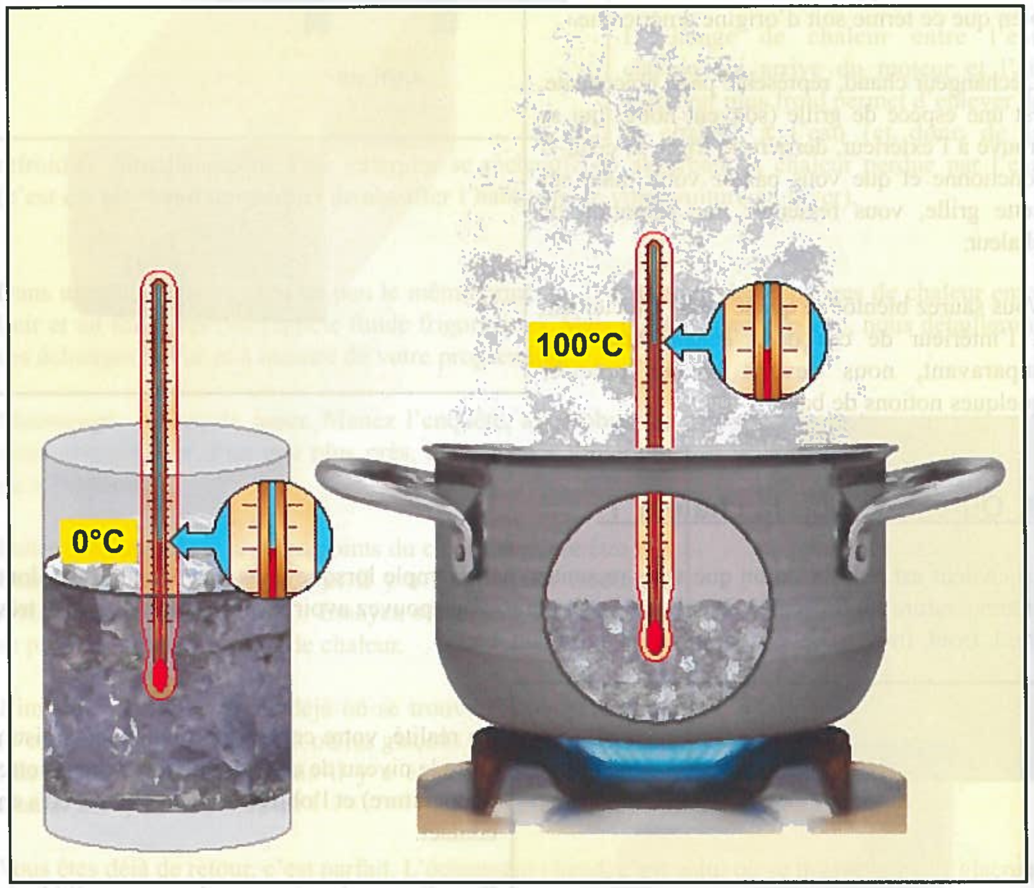
Notez que la paume d'une main est à une température généralement comprise entre 30 et 33°C (sauf si vous avez de la fièvre !).

Alexis cherche à savoir si les échangeurs sont plus chauds ou moins chauds que sa main. *Il fait tout simplement une comparaison.*

Vous comprendrez aisément que cette technique d'appréciation de la température est quelque peu imprécise et aléatoire. Plus la température à évaluer s'éloigne de celle de la paume de notre main, plus l'appréciation est difficile et risquée.

Par exemple, il faut faire attention aux brûlures (comment apprécier à la main la température de l'huile chaude dans un bac à frites ?). Et comment faire si l'on doit mesurer la température d'un produit dangereux (un acide par exemple). C'est pour ces raisons que nous utilisons un thermomètre.

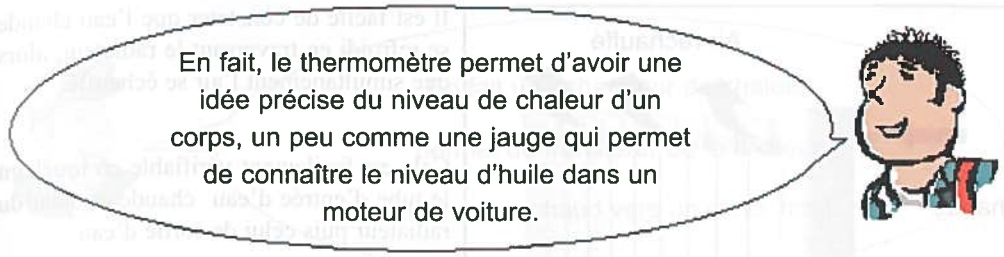
Nous avons l'habitude, par exemple en écoutant la météo, d'entendre parler des degrés Celsius (°C) pour mesurer la température.



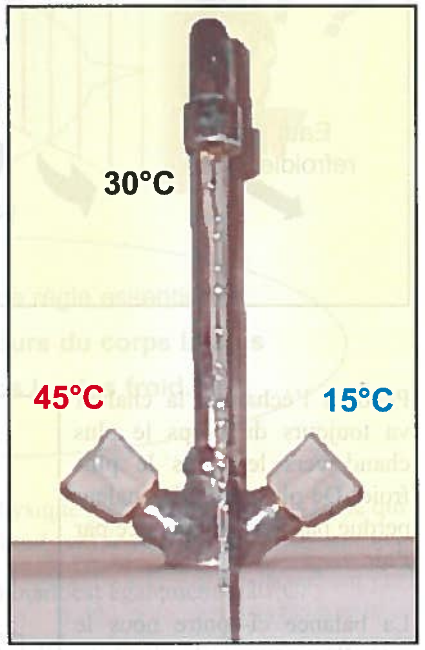
Avec l'échelle des °C, le zéro (0°C) correspond à la température indiquée par un thermomètre plongé dans de la glace fondante. Le cent (100°C) correspond à la température d'ébullition de l'eau.

Comme cent divisions séparent ces deux points (de 0°C à 100°C), les degrés « Celsius » sont parfois également appelés degrés « Centigrades » : c'est exactement la même chose.

Pour résumer, le thermomètre est un instrument de mesure qui permet de connaître *avec précision* le niveau de chaleur d'un corps.



4. Le transfert de chaleur :



Dans notre vie courante, nous avons souvent besoin soit de réchauffer, soit de refroidir des corps.

Prenez l'exemple d'un robinet mélangeur, comme représenté ci-contre. Pour obtenir une température agréable, nous mélangeons de l'eau chaude et de l'eau froide.

Nous provoquons alors un échange de chaleur entre l'eau chaude par exemple à 45°C et l'eau froide à 15°C pour donner de l'eau à 30°C : il y a eu ce qu'on appelle un échange thermique.

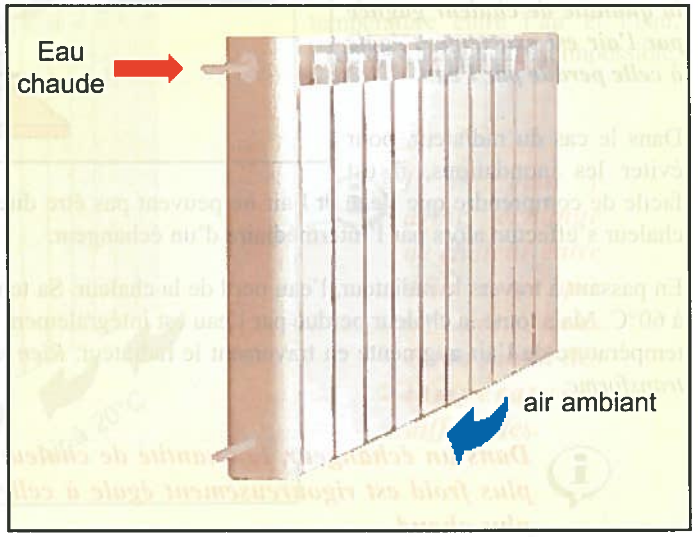
Dans notre exemple, ce sont deux corps de même nature qui se mélangent et échangent de la chaleur.

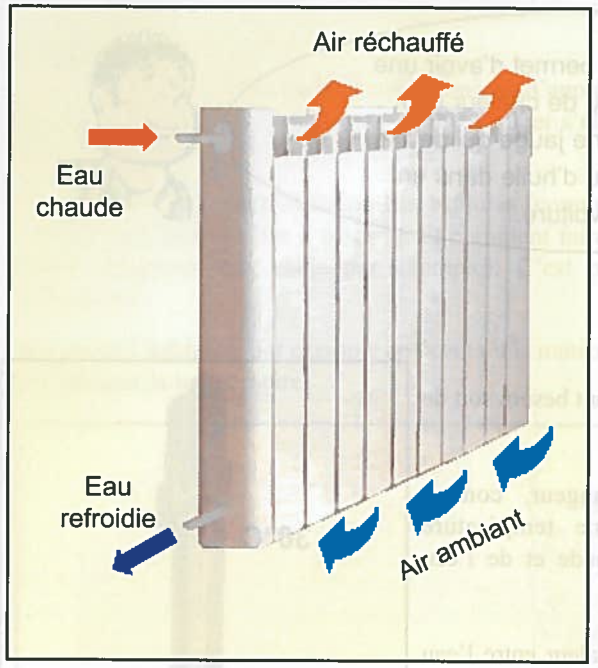
Cependant, les échanges thermiques ne sont pas limités aux corps de même nature et les corps qui échangent de la chaleur ne se mélangent pas obligatoirement.

Par exemple, pour chauffer une pièce, nous pouvons utiliser un radiateur de chauffage central, à l'intérieur duquel on fait circuler de l'eau chaude.

Grâce à cet échangeur, il va se produire un transfert de chaleur entre l'eau du circuit de chauffage et l'air de la pièce.

A votre avis, c'est l'eau qui chauffe l'air ou c'est l'inverse ?





Il est facile de constater que l'eau chaude se refroidi en traversant le radiateur, alors que simultanément l'air se échauffe.

Cela est facilement vérifiable en touchant le tube d'entrée d'eau chaude en haut du radiateur puis celui de sortie d'eau.

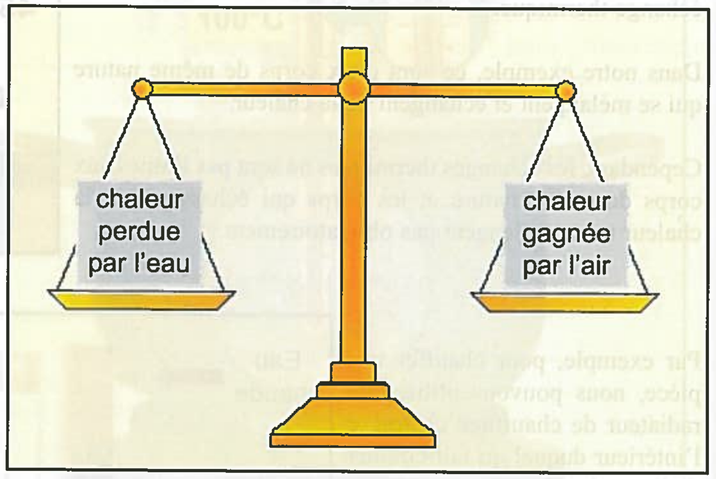
Quant à l'air qui se réchauffe, il circule de bas en haut (comme le prouve les traces noires qu'on constate très souvent sur le mur, au-dessus des radiateurs).

Des observations précédentes, nous pouvons déduire que lorsque deux corps à des températures différentes sont en contact, il se produit un échange de chaleur, appelé aussi échange thermique.

Pendant l'échange, la chaleur va toujours du corps le plus chaud vers le corps le plus froid. De plus, toute la chaleur perdue par l'eau est gagnée par l'air.

La balance ci-contre nous le rappelle :

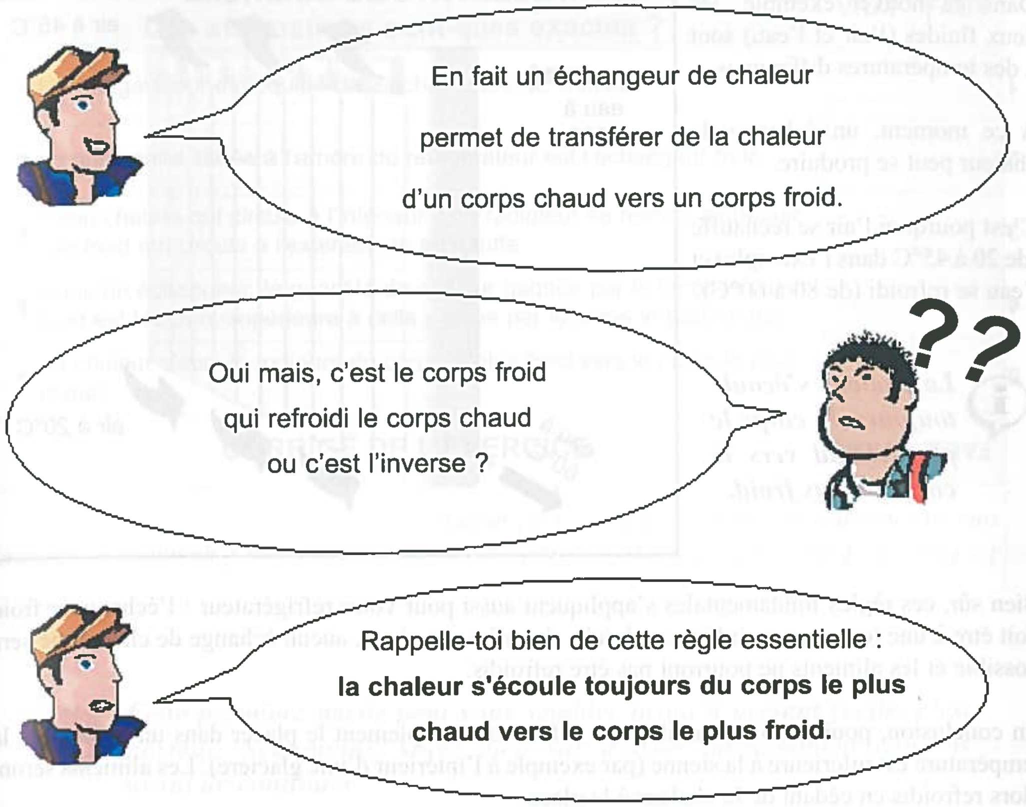
la quantité de chaleur gagnée par l'air est exactement égale à celle perdue par l'eau.



Dans le cas du radiateur, pour éviter les inondations, il est facile de comprendre que l'eau et l'air ne peuvent pas être directement en contact. L'échange de chaleur s'effectue alors par l'intermédiaire d'un échangeur.

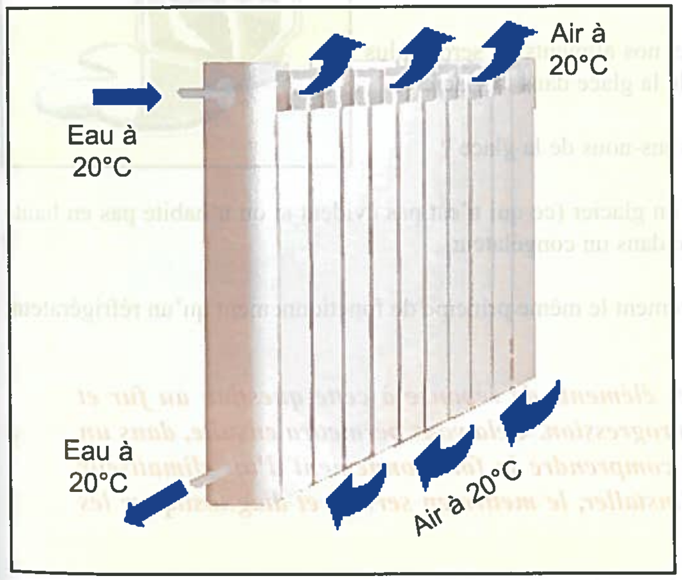
En passant à travers le radiateur, l'eau perd de la chaleur. Sa température chute par exemple de 80 à 60°C. Mais toute la chaleur perdue par l'eau est intégralement gagnée par l'air. C'est pourquoi la température de l'air augmente en traversant le radiateur. *Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme.*

Dans un échangeur, la quantité de chaleur gagnée par le corps le plus froid est rigoureusement égale à celle perdue par le corps le plus chaud.



Et oui, contrairement aux habitudes du milieu financier, en physique c'est toujours le plus riche qui donne au plus pauvre ! *La chaleur passe toujours du plus chaud vers le plus froid.*

Dans l'exemple ci-dessous, l'eau arrive à 20°C mais l'air ambiant est également à 20°C.



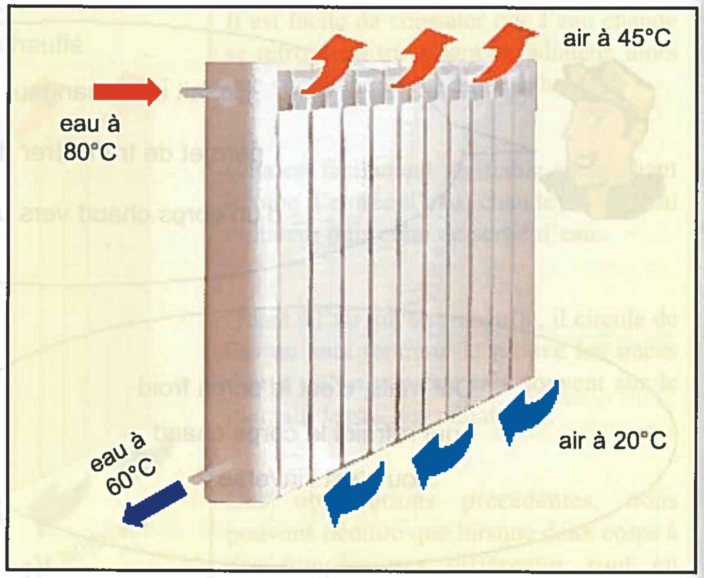
Il est facile de comprendre que puisqu'il n'y a pas de différence de température entre l'air et l'eau, l'échange de chaleur est impossible.

Il ne peut y avoir échange de chaleur entre deux corps que si ces deux corps sont à des températures différentes.

Dans ce nouvel exemple, les deux fluides (l'air et l'eau) sont à des températures différentes.

A ce moment, un échange de chaleur peut se produire.

C'est pourquoi l'air se réchauffe (de 20 à 45°C dans l'exemple) et l'eau se refroidi (de 80 à 60°C).

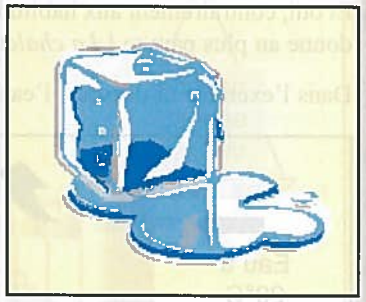


La chaleur s'écoule toujours du corps le plus chaud vers le corps le plus froid.

Bien sûr, ces règles fondamentales s'appliquent aussi pour votre réfrigérateur : l'échangeur froid doit être à une température inférieure à celle des aliments sinon, aucun échange de chaleur ne sera possible et les aliments ne pourront pas être refroidis.

En conclusion, pour refroidir un aliment, il faut tout simplement le placer dans un endroit où la température est inférieure à la sienne (par exemple à l'intérieur d'une glacière). Les aliments seront alors refroidis en cédant de la chaleur à la glace.

Cependant, il y a un problème : en absorbant la chaleur cédée par les aliments, la glace va se réchauffer et fondre. Après un certain temps, il est évident que toute la glace sera fondue : elle ne pourra plus absorber de chaleur.



Lorsque toute la glace sera fondue, nos aliments ne seront plus refroidis. Il faudra donc remettre de la glace dans la glacière.

C'est facile à dire, mais où trouverons-nous de la glace ?

Soit il faudra aller la chercher sur un glacier (ce qui n'est pas évident si on n'habite pas en haute montagne), soit on prendra la glace dans un congélateur.

Un congélateur, d'accord, c'est sûrement le même principe de fonctionnement qu'un réfrigérateur, mais comment ça marche ?

Vous aurez tous les éléments de réponse à cette question au fur et à mesure de votre progression. Cela vous permettra ensuite, dans un premier temps, de comprendre le fonctionnement d'un climatiseur afin de pouvoir l'installer, le mettre en service et diagnostiquer les pannes courantes.

C'est l'objectif de cette méthode d'apprentissage.

EXERCICE DE SYNTHÈSE n°1 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX
1 Un réfrigérateur est équipé de 2 échangeurs de chaleur		
2 La grille noire située à l'arrière du réfrigérateur est l'échangeur froid		
3 L'eau chaude qui circule à l'intérieur d'un radiateur se refroidi alors que l'air froid qui circule à l'extérieur se réchauffe		
4 Dans un échangeur, la quantité de chaleur gagnée par le corps le plus froid est toujours supérieure à celle perdue par le corps le plus chaud		
5 La chaleur s'écoule toujours du corps le plus froid vers le corps le plus chaud		

CORRIGÉ DE L'EXERCICE

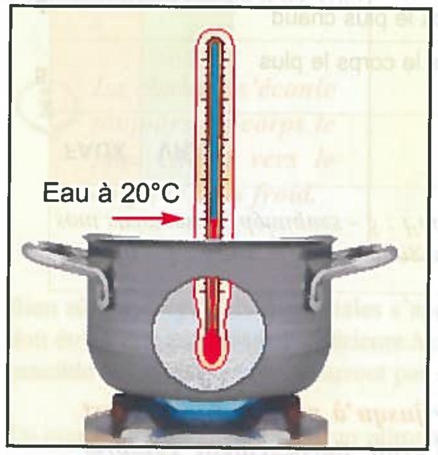
1 : Vrai - 2 : Faux, c'est l'échangeur chaud - 3 : Vrai - 4 : Faux, ces 2 quantités de chaleur sont strictement identiques - 5 : Faux, c'est l'inverse

Cette première partie peut vous sembler jusqu'à présent facile, c'est normal. Néanmoins, soyez bien sûr d'avoir parfaitement compris avant de continuer…

LE PHÉNOMÈNE D'ÉBULLITION

Pour comprendre le fonctionnement de notre réfrigérateur nous avons besoin de compléter ou de rafraîchir un peu nos connaissances. Pour cela, nous allons observer ce qui se passe autour de nous.

1. Expérience :

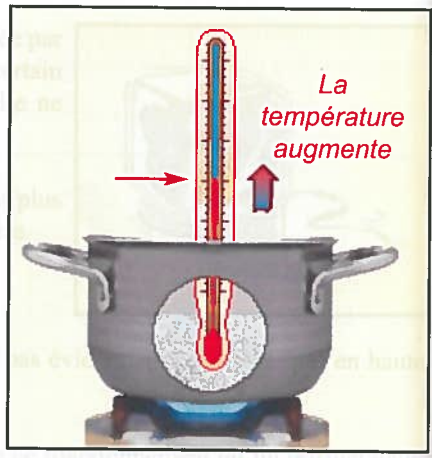


Commençons par l'expérience toute simple de la casserole d'eau.

Prenez une casserole, remplissez-la d'eau du robinet, par exemple à 20°C, puis posez-la sur un réchaud.

Pour mener à bien notre expérience, nous aurons également besoin d'un thermomètre (gradué au moins jusqu'à 100°C) afin de mesurer la température de l'eau.

A présent, allumez la flamme du réchaud. *Que constatez-vous ?*



Comme le montre le thermomètre, la présence de la flamme provoque une augmentation de la température de l'eau.

Si vous éteignez le réchaud, la température de l'eau cesse d'augmenter. Si vous attendez un peu, elle va même diminuer.

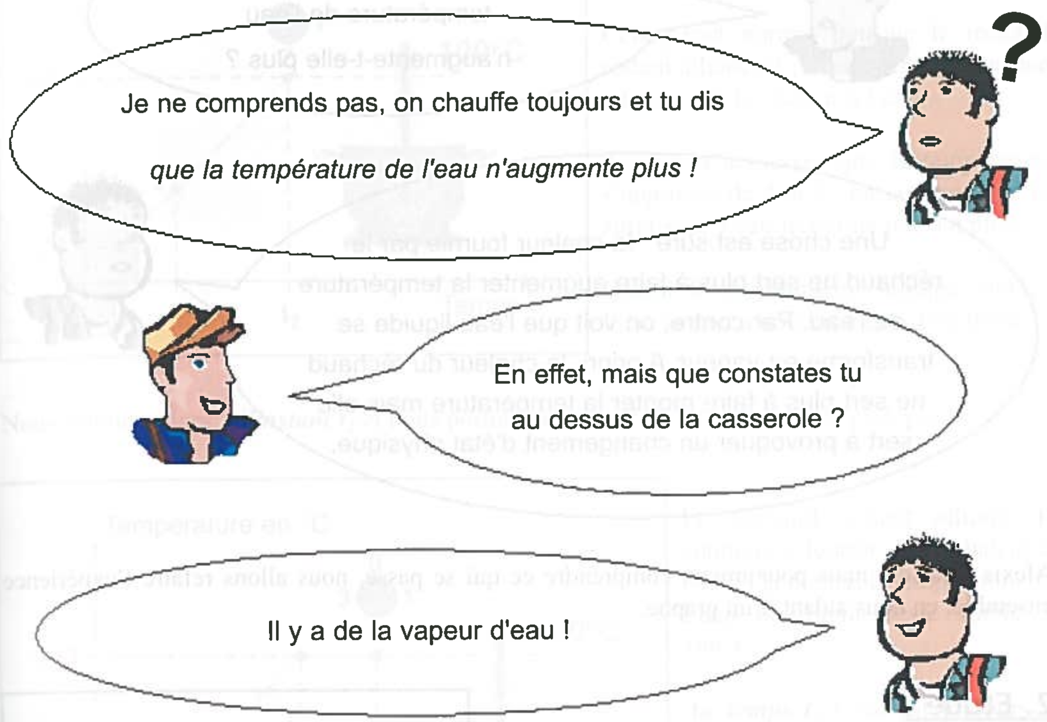
Les constatations précédentes sont assez faciles à comprendre : quand la flamme est allumée, elle cède de la chaleur à l'eau dont la température augmente. Ensuite, dès qu'on éteint le réchaud, l'eau étant plus chaude que l'air ambiant, elle cède à son tour de la chaleur à l'air environnant (c'est pourquoi la température de l'eau diminue).

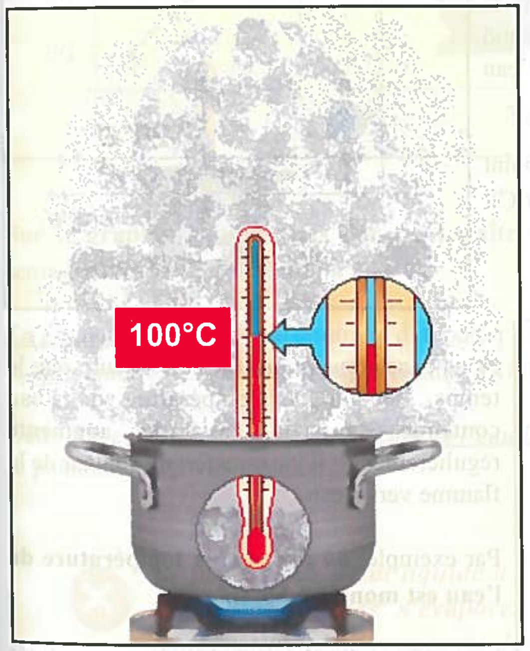
A présent, si on remet le réchaud en fonctionnement, la température de l'eau remonte à nouveau.

Mais dites voir, si on laisse le réchaud en service, que va faire la température de l'eau ? Va-t-elle augmenter indéfiniment ?

Essayez donc de répondre avant de continuer…

Vous-vous rappelez peut-être de vos vieux cours de physique : *arrivée à 100°C, la température de l'eau se stabilise et n'augmente plus, bien que le réchaud continue d'apporter de la chaleur.*





Bien que le réchaud continue à fournir de la chaleur, la température n'augmente plus…

En effet, on constate un très fort dégagement de vapeur d'eau au-dessus de la casserole. De plus, on peut observer que le niveau de l'eau dans la casserole diminue de plus en plus. *Que peut-il bien se passer ?*

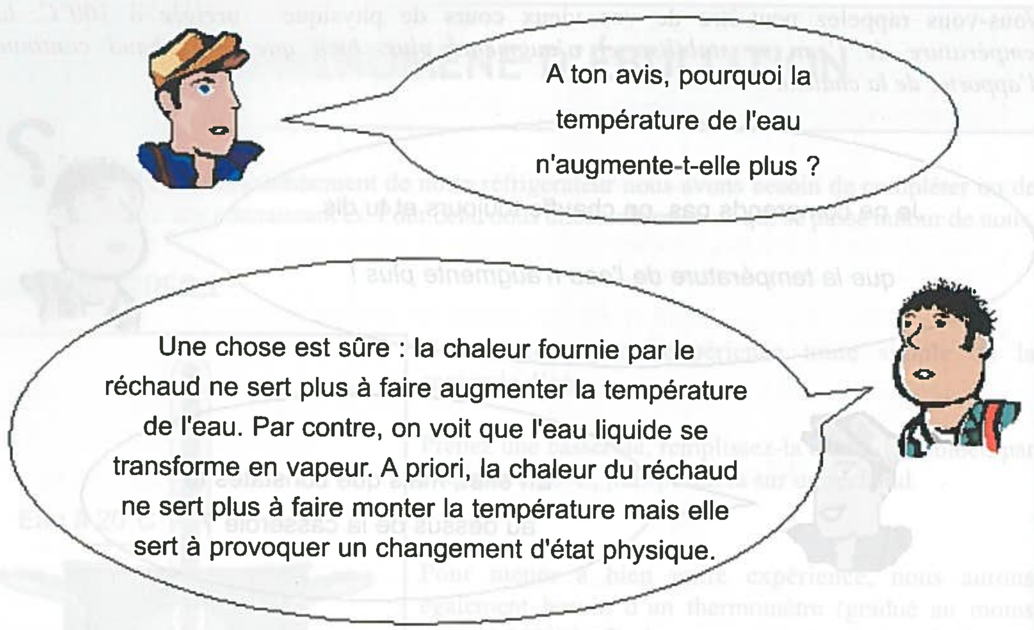
Nous sommes en présence d'un phénomène physique très important appelé :

<u>Changement d'état.</u>

Pendant ce changement d'état, l'eau passe de l'état liquide à l'état gazeux (vapeur).

En effet, il est facile de constater que le niveau de liquide diminue dans le récipient au fur et à mesure que la ***<u>vapeur</u>*** d'eau se dégage : ***<u>l'eau se vaporise.</u>***

De plus, la température indiquée par le thermomètre se stabilise à 100°C.

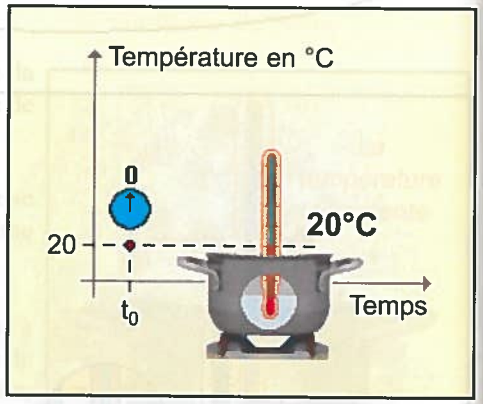


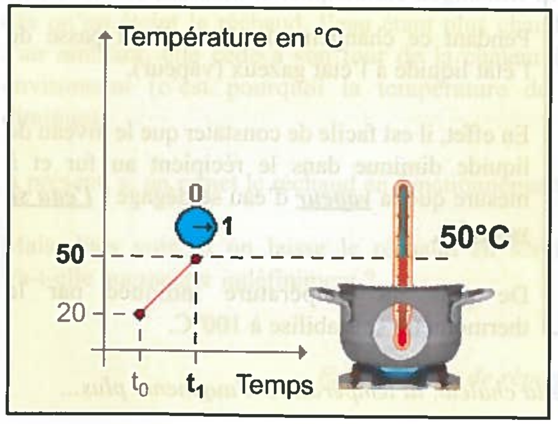
Alexis a raison, mais pour mieux comprendre ce qui se passe, nous allons refaire l'expérience ensemble, en nous aidant d'un graphe.

2. Etude :

Remplissons une casserole avec de l'eau dont la température est par exemple de 20°C. Le réchaud étant éteint, il n'y a aucun apport de chaleur et l'eau reste donc à 20°C.

A l'instant t_0 allumons le réchaud et repérons ce point sur le graphe (au temps t_0 la température est de 20°C).

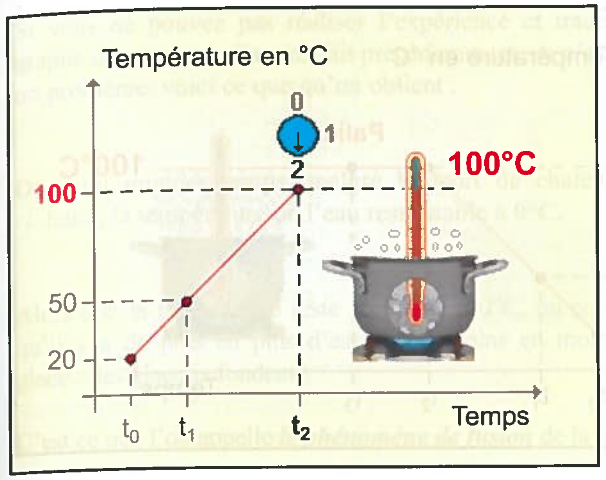




Nous constatons qu'au fur et à mesure que le temps s'écoule, la température de l'eau contenue dans la casserole augmente régulièrement : il y a transfert de chaleur de la flamme vers l'eau.

Par exemple, ***au temps t_1* la température de l'eau est montée à 50°C.**

La surface de l'eau reste plane et plutôt tranquille.



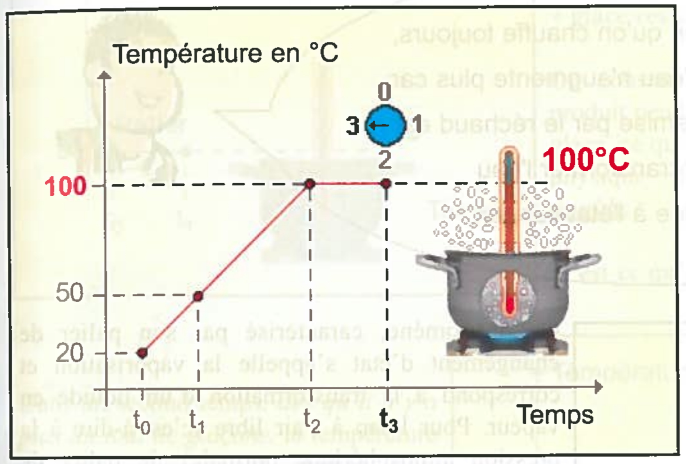
Au fur et à mesure que le temps passe, la température de l'eau continue d'augmenter très régulièrement.

Cela paraît normal puisque le réchaud restant allumé, il continue en permanence à fournir de la chaleur à l'eau.

Au fur et à mesure que la température s'approche de 100°C, on constate que la surface de l'eau frémit de plus en plus.

Quand le thermomètre indique 100°C, l'eau se met à bouillir à gros bouillons.

Nous sommes alors *à l'instant t_2* et nous portons **le point** 100°C sur le graphe ci-dessus.



Le réchaud restant allumé, il continue à fournir de la chaleur à l'eau. Par contre, la température de l'eau bouillante reste stable à 100°C.

Au temps t_3 l'eau est toujours à 100°C et il y a énormément de vapeur d'eau qui se dégage au-dessus de la casserole (c'est pourquoi le niveau du liquide diminue très distinctement).

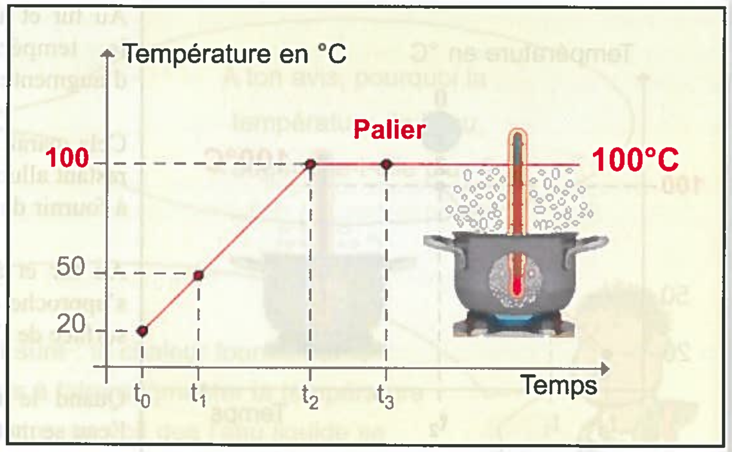
Sur le graphe, nous voyons donc apparaître à partir de t_2, un palier horizontal dont la température reste constante à 100°C.

<u>La chaleur</u> que le réchaud continue d'apporter à partir de t_2 ne sert plus du tout à faire augmenter la température de l'eau (qui reste constante à 100°C).

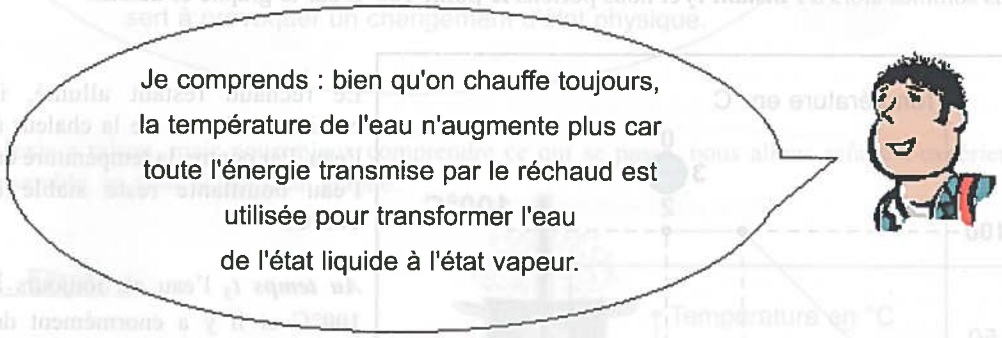
Cette chaleur permet la ***<u>transformation de l'eau liquide en vapeur d'eau</u>***. C'est ce que l'on appelle le phénomène de vaporisation.

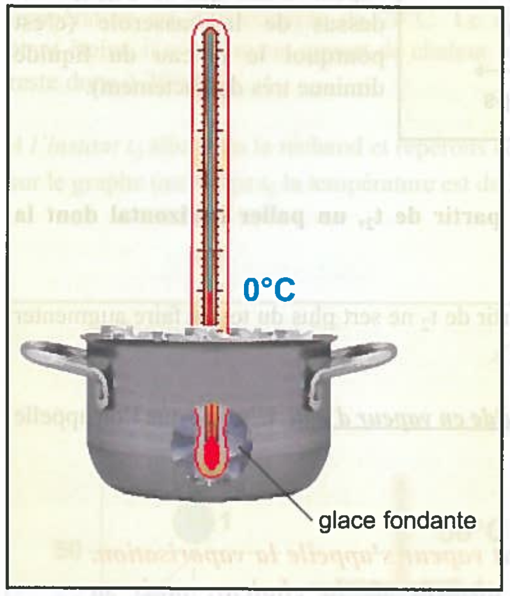
Le passage de l'état liquide à l'état vapeur s'appelle la vaporisation. Lorsqu'un liquide s'évapore, il absorbe de la chaleur, mais sa température reste constante. La chaleur absorbée alors par le liquide s'appelle la chaleur latente de vaporisation.

Cette expérience nous permet de mettre en évidence que, lorsque de l'eau passe de l'état liquide à l'état vapeur, elle absorbe de la chaleur à température de vaporisation constante, ce qui constitue un palier.



L'énergie absorbée pendant toute la durée du palier ne fait plus du tout augmenter la température mais elle sert *intégralement* à provoquer un changement d'état afin de transformer *l'eau liquide* en *eau vapeur.*





Ce phénomène, caractérisé par son palier de changement d'état s'appelle la vaporisation et correspond à la transformation d'un liquide en vapeur. Pour l'eau à l'air libre (c'est-à-dire à la pression atmosphérique normale), le palier de vaporisation se fait toujours à 100°C.

A présent, je vous propose de réaliser une seconde expérience.

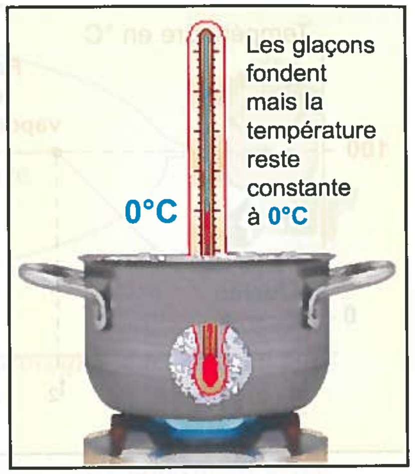
Prenez une casserole, remplissez-la de glaçons et d'eau fraîche. Attendez un peu afin que la température du mélange soit homogène puis placez un thermomètre dans la casserole.

Au bout d'un certain temps, le thermomètre indique 0°C (c'est la température de la glace fondante). A ce moment, placez la casserole sur le réchaud et mettez ce dernier *sur feu doux.*

Que va-t-il se passer ? Qu'en pensez-vous ?

Et pourquoi ne pas essayer de répondre avant de continuer ?

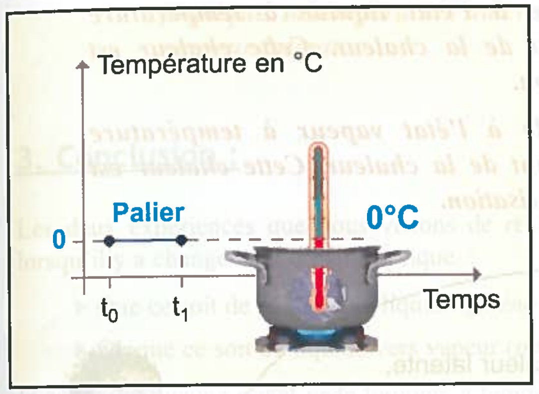
Si vous ne pouvez pas réaliser l'expérience et tracer un graphe comme nous l'avons fait précédemment, ce n'est pas un problème, voici ce que qu'on obtient :



Dans un premier temps, malgré l'apport de chaleur du réchaud, la température de l'eau reste stable à 0°C.

Alors que la température reste constante à 0°C, on constate qu'il y a de plus en plus d'eau et de moins en moins de glace : les glaçons fondent.

C'est ce que l'on appelle ***le phénomène de fusion*** de la glace.

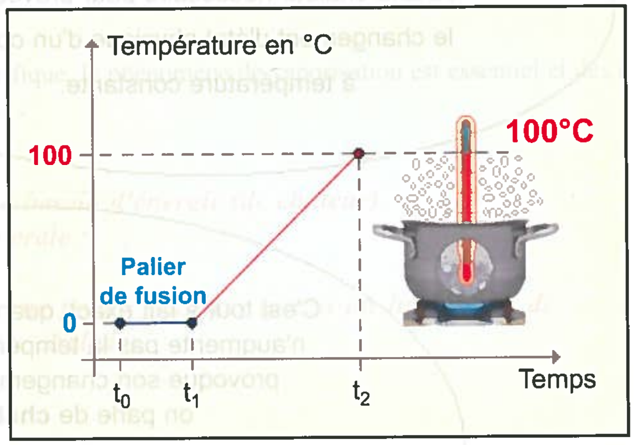


Entre t_0 et t_1, la température du mélange eau + glace reste rigoureusement constante à 0°C.

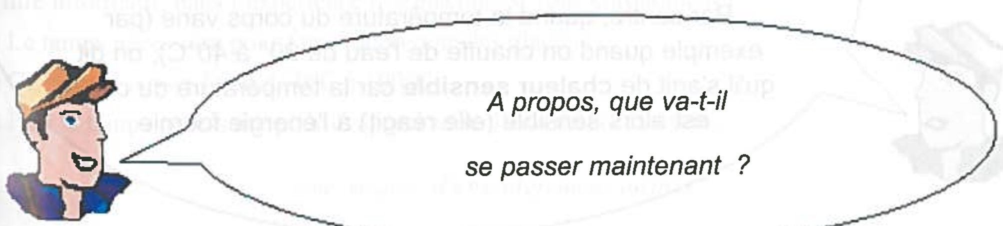
On constate très nettement qu'***un palier*** se produit pendant toute la durée de la fusion de la glace, ce qui correspond à un changement d'état physique : le passage ***de l'état solide à l'état liquide.***

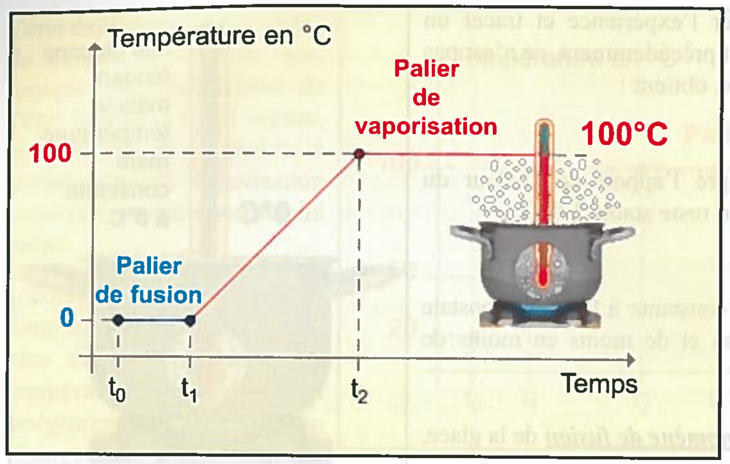
C'est ce qu'on appelle le palier de fusion.

Dans un second temps, *dès qu'il n'y a plus du tout de glaçons,* la température de l'eau commence à augmenter.



La température va alors augmenter jusqu'à 100°C, comme nous l'avons déjà vu précédemment.





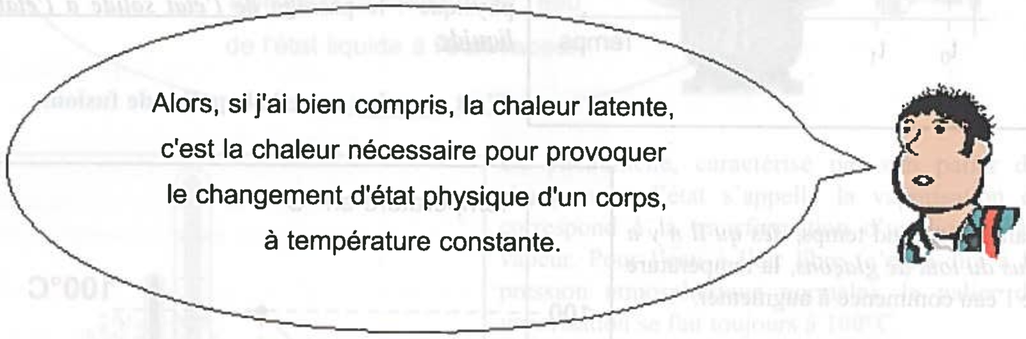
Bien sûr, arrivée à 100°C, la température se stabilise à nouveau : c'est le début d'un second palier que nous connaissons déjà.

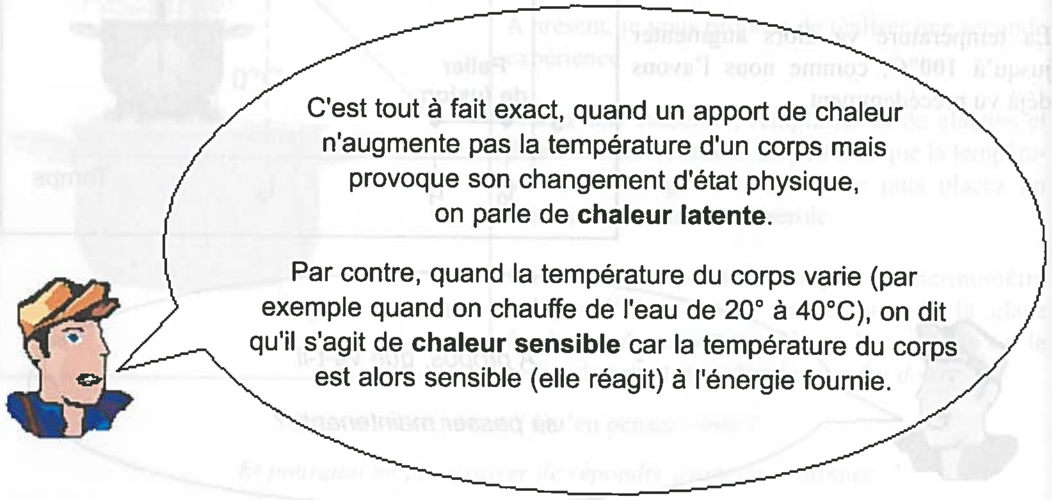
Ce second palier correspond au passage de l'eau de l'état *liquide* à l'état *vapeur* : c'est le palier de vaporisation.

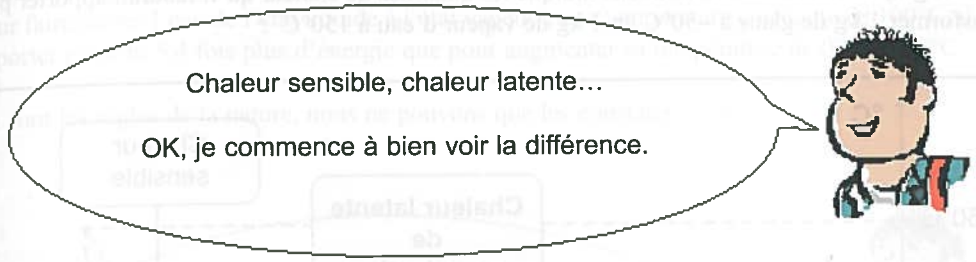
Cette expérience nous permet de constater des phénomènes très importants.

L'eau passe de l'état solide à l'état liquide à température constante (0°C), en absorbant de la chaleur. Cette chaleur est appelée chaleur latente de fusion.

L'eau passe de l'état liquide à l'état vapeur à température constante (100°C), en absorbant de la chaleur. Cette chaleur est appelée chaleur latente de vaporisation.







Si un apport de chaleur à un corps provoque une élévation de température, on parle de chaleur sensible.

Par contre, si l'apport de chaleur provoque un changement d'état physique, la température du corps reste constante et on parle alors de chaleur latente.

3. Conclusion :

Les deux expériences que nous venons de réaliser sont essentielles. Nous devons retenir que lorsqu'il y a changement d'état physique :

- Que ce soit de solide vers liquide (*phénomène de fusion*) ;
- Ou que ce soit de liquide vers vapeur (*phénomène de vaporisation*) ;

le corps qui change d'état reste toujours à température constante bien qu'il absorbe de la chaleur (c'est le phénomène du palier).

Pour la compréhension du circuit frigorifique, le phénomène de vaporisation est essentiel et dès à présent, nous devons absolument retenir :

Pour s'évaporer, l'eau a besoin d'énergie (de chaleur). et d'une façon plus générale :

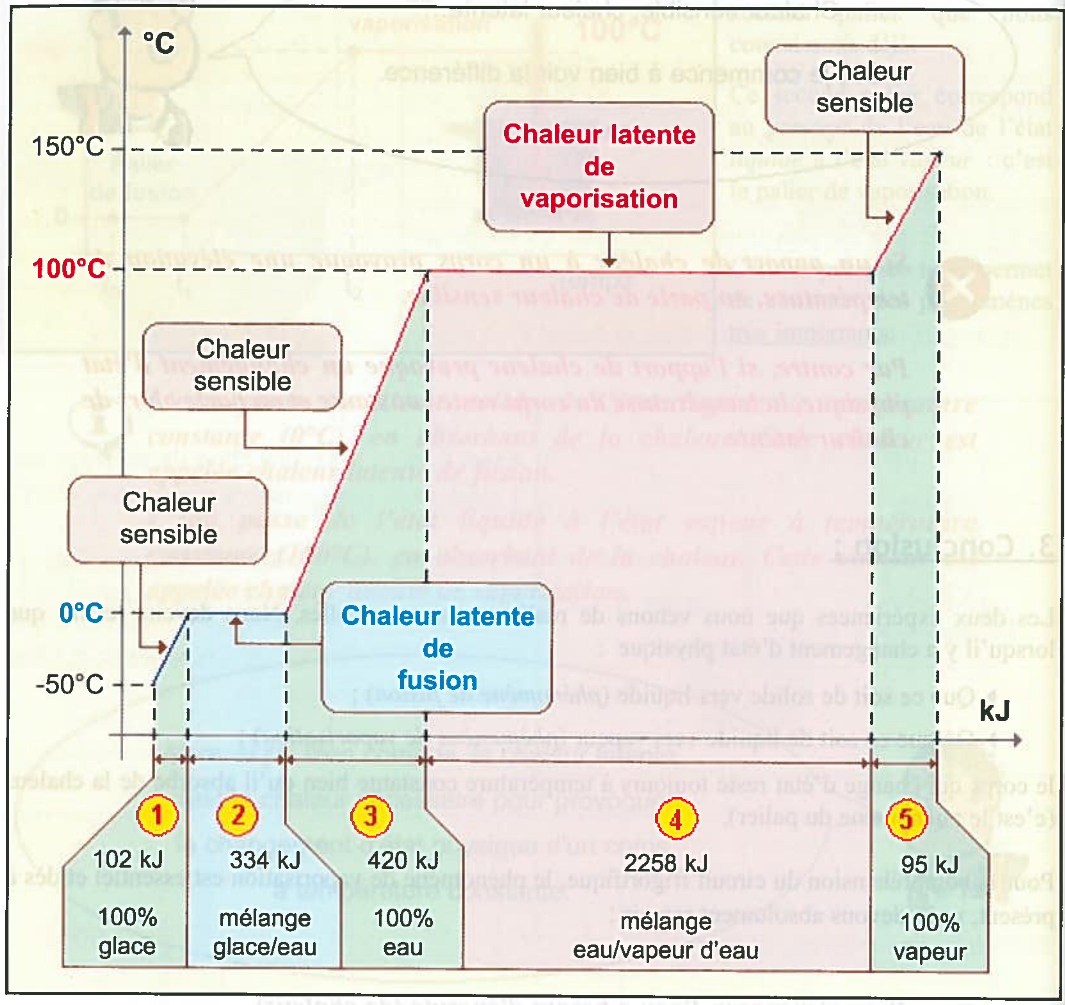
Un liquide quelconque ne peut s'évaporer que si on lui fournit de l'énergie (sous forme de chaleur).

A titre informatif, dans l'expérience des glaçons, si vous chronométrez :

1) Le temps nécessaire pour faire fondre tous les glaçons ;
2) Celui pour passer l'eau de 0°C à 100°C ;
3) Puis le temps nécessaire pour évaporer toute l'eau de la casserole ;

vous risquez d'être bigrement surpris…

Dans le graphe ci-dessous, nous avons indiqué les quantités de chaleur qu'il faudrait apporter pour transformer 1 kg de glace à –50°C en 1 kg de vapeur d'eau à 150°C :



Les quantités de chaleur (énergie) sont exprimées en kiloJoules (kJ) puisque c'est l'unité légale du Système International (S.I.). Ces valeurs vous sont données à titre indicatif : *ne soyez pas inquiets* si cela ne vous dit rien, ce n'est pas le plus important.

Cela veut dire que le palier de vaporisation dure environ sept fois plus longtemps que le palier de fusion, alors que c'est exactement le même réchaud et la même quantité d'eau !



Lors de sa vaporisation, un liquide absorbe énormément d'énergie. Dans le cas de notre expérience, pour faire passer l'eau de l'état liquide à l'état vapeur à une température constante de 100°C, il faut apporter environ 5,4 fois plus d'énergie que pour augmenter sa température de 0°C à 100°C.

Ce sont les règles de la nature, nous ne pouvons que les constater.

Dans notre expérience, J'ai remarqué qu'à chaque fois que l'eau était à l'état de mélange (en 2 et en 4), la chaleur fournie était latente.

Par contre, quand l'eau était à l'état complètement solide (en 1), complètement liquide (en 3) ou complètement vapeur (en 5), la chaleur était sensible. C'est bien ça ?





En effet, lorsque la chaleur fournie à un corps provoque une augmentation de sa température, on parle de **chaleur sensible (la température est sensible** à cet apport de chaleur).

Par contre, lorsque la chaleur fournie à un corps provoque un changement d'état physique, on parle de **chaleur latente** (la température n'est plus sensible à l'apport de chaleur, **elle attend**).

Nous aurons l'occasion de reparler de ces notions de chaleur latente et de chaleur sensible un peu plus tard.

Néanmoins, soyez sûr d'avoir bien compris avant de continuer…

EXERCICE DE SYNTHÈSE n°2 : Ces affirmations sont-elles exactes ?

		VRAI	FAUX	
1	La vaporisation est le passage de l'état vapeur à l'état liquide			1
2	La fusion est le passage de l'état solide à l'état liquide			2
3	La quantité de chaleur nécessaire pour passer de l'état liquide à l'état vapeur s'appelle la chaleur latente de vaporisation			3
4	La chaleur sensible permet le changement d'état physique			4
5	Un apport de chaleur sensible modifie toujours la température d'un corps			5
6	La chaleur de vaporisation de l'eau est beaucoup plus importante que sa chaleur de fusion			6
7	Pour transformer de la glace en vapeur d'eau, il ne faut franchir qu'un seul palier de chaleur latente			7
8	Le phénomène de chaleur latente se produit toujours lorsqu'on apporte de la chaleur à un corps constitué par un mélange de 2 corps étant dans des états physiques différents.			8

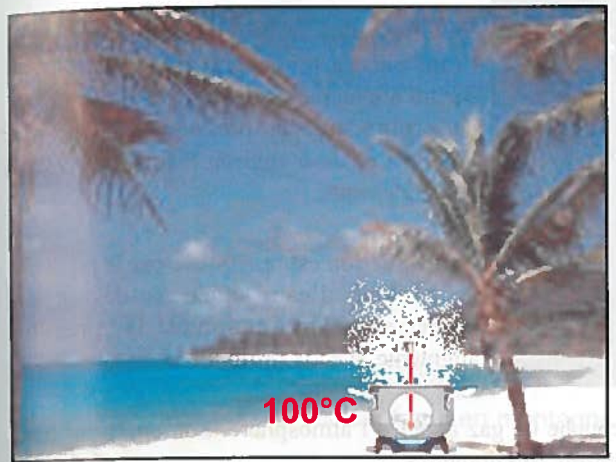
CORRIGÉ DE L'EXERCICE

VRAI FAUX

1 : Faux. C'est l'inverse - 2 : Vrai - 3 : Vrai - 4 : Faux. C'est la chaleur latente - 5 : Vrai - 6 : Vrai, environ 7 fois plus - 7 : Faux. Il y a 2 paliers, d'abord celui de fusion (transformation de la glace en eau), puis celui de vaporisation (transformation de l'eau en vapeur) - 8 : Vrai. C'est le cas du mélange glace + eau (chaleur latente de fusion) et du mélange eau + vapeur d'eau (chaleur latente de vaporisation).

L'EAU BOUT-ELLE TOUJOURS À 100°C ?

Il est vrai que 100°C est une température très souvent associée à l'ébullition de l'eau. Pourtant, cette ébullition ne se fait pas toujours obligatoirement à 100°C. Prenons un exemple.



Vous avez décidé de dîner au bord de mer et de manger des œufs durs.

Vous préparez donc votre casserole et votre réchaud afin de faire bouillir de l'eau. Vous allumez et c'est parti, il ne reste plus qu'à attendre. Lorsque l'eau bout, vous mettez les œufs dans la casserole.

Dix minutes plus tard, les œufs sont prêts et vous arrêtez le réchaud. Quand vous mangez les œufs, ils sont parfaitement cuits : tout va bien.

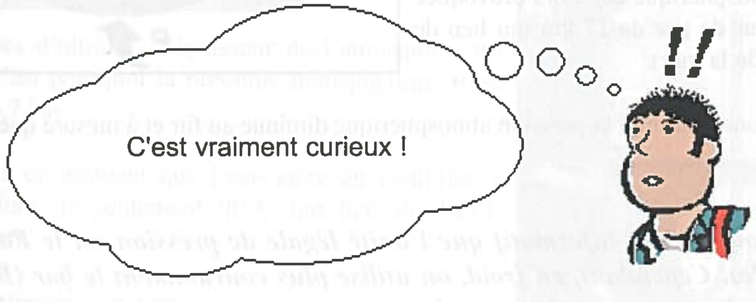
Quelques jours plus tard, vos promenades vous emmènent en montagne.



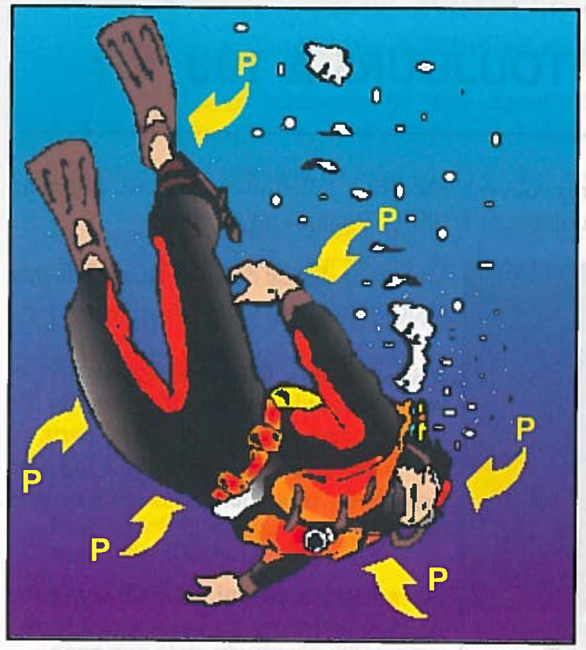
Fervent adepte des œufs durs, vous sortez la casserole, le réchaud, le briquet.

Lorsque l'eau bout, vous mettez les œufs dans la casserole. Dix minutes plus tard, vous arrêtez le réchaud. Logiquement, les œufs devraient être cuits.

Lorsque vous voulez déguster vos œufs, vous constatez que les jaunes ne sont pas durs, bien que vous les ayez laissé 10 minutes dans l'eau bouillante, *exactement comme vous l'aviez fait au bord de la mer !*



Comment expliquer ce phénomène ? Auriez vous une petite idée ?



Le problème que vous avez rencontré avec vos œufs est lié à un phénomène de pression que nous allons essayer d'expliquer.

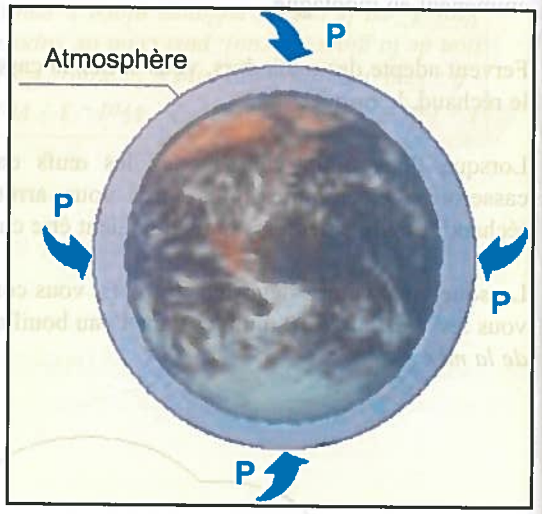
Si vous faites de la plongée sous marine, vous connaissez vraisemblablement très bien les problèmes de pression.

En effet, plus un plongeur descend dans l'eau, plus la pression **P** que l'eau exerce sur lui augmente. Par exemple, à 50 mètres de profondeur, la pression exercée par l'eau est égale à environ 5 fois la pression atmosphérique.

Cette pression est provoquée par le poids de la hauteur d'eau située au-dessus du plongeur. C'est pourquoi la pression augmente avec la profondeur.

De même, autour de la terre, il y a une couche de gaz appelée l'atmosphère. Son épaisseur peut varier, mais elle est " grosso modo " d'environ 20 kilomètres.

De la même manière que la hauteur d'eau exerce une pression sur le plongeur, la hauteur de l'atmosphère exerce une pression sur la surface du globe.



C'est cette pression qu'on appelle la pression atmosphérique.

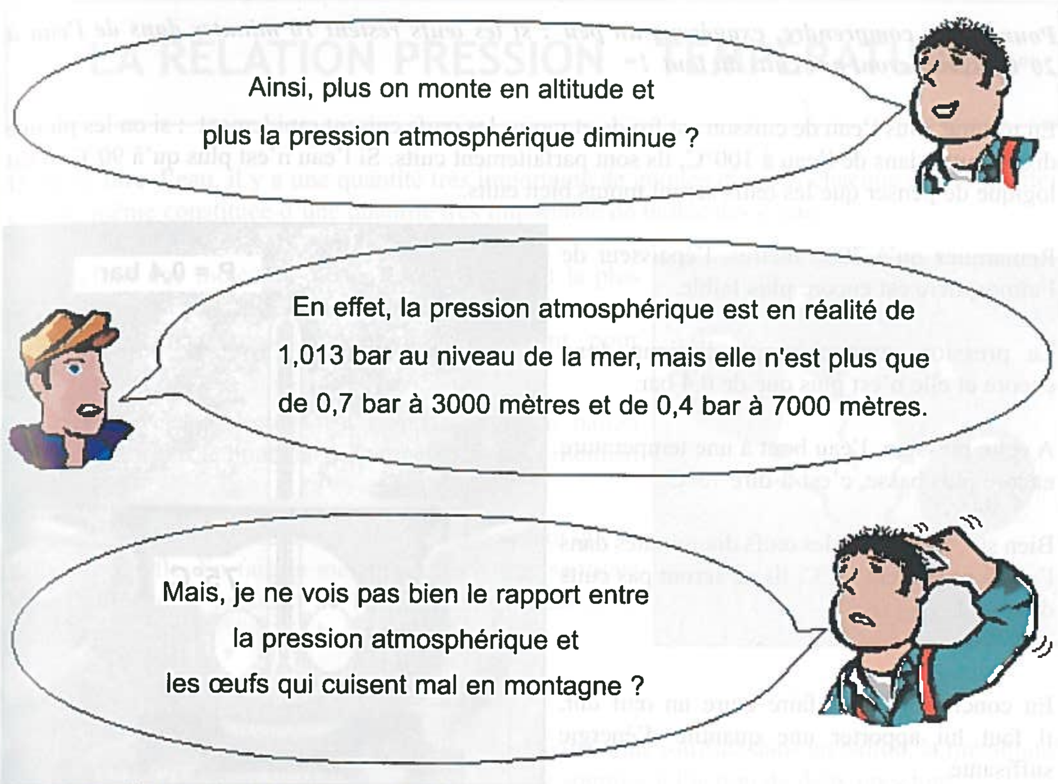
Quand on est au niveau de la mer, la pression atmosphérique est donc provoquée par une épaisseur de gaz d'environ 20 km.

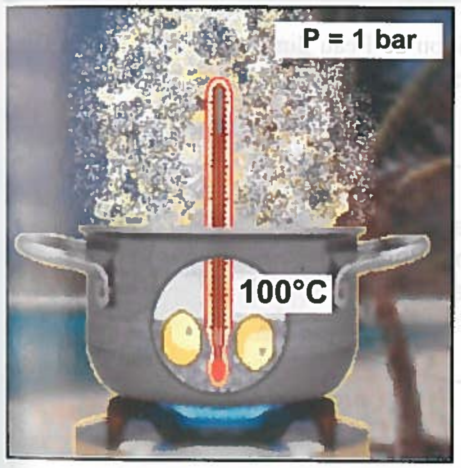
Mais quand on est à 3000 mètres d'altitude (soit 3 km), l'épaisseur de l'atmosphère n'est plus que de 20 – 3 = 17 km.

La pression atmosphérique est alors provoquée par une épaisseur de gaz de 17 km (au lieu de 20 km au bord de la mer).

On comprend donc pourquoi la pression atmosphérique diminue au fur et à mesure que l'on monte en altitude.

Notez à titre informatif que l'unité légale de pression est le Pascal (Pa). Cependant, en froid, on utilise plus couramment le bar (Bar). Un bar correspond à peu près à la pression atmosphérique qui règne au niveau de la mer, soit à 0 mètre d'altitude (1 bar = 1 atmosphère).





Essayons de répondre à Alexis.

Au niveau de la mer, c'est-à-dire à l'altitude 0 mètres, la pression atmosphérique est de 1,013 bar (nous considérerons une valeur pratique de 1 bar).

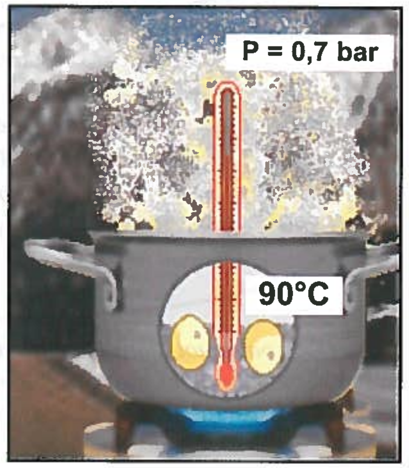
A cette pression, l'eau bout effectivement à 100°C.

A cette température de 100°C, des œufs qui restent dix minutes dans l'eau bouillante sont parfaitement durs.

A 3000 mètres d'altitude, l'épaisseur de l'atmosphère est plus faible, c'est pourquoi la pression atmosphérique n'est plus que de 0,7 bar.

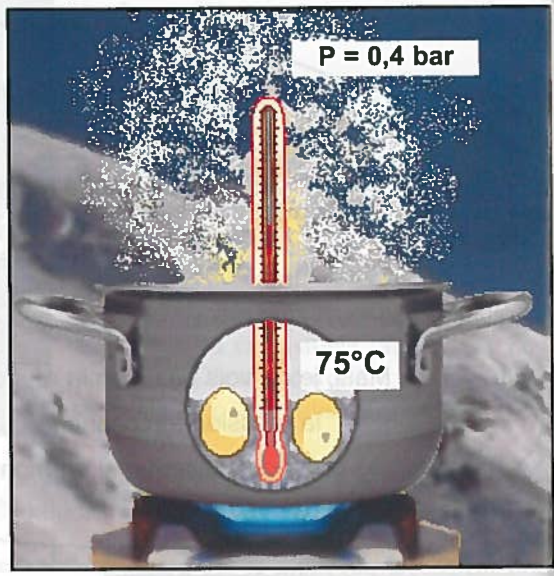
On constate à ce moment que l'eau entre en ébullition à une température de seulement 90°C (au lieu de 100°C précédemment).

Avant de continuer, n'auriez-vous pas une petite idée de réponse à la question d'Alexis ?



Pour mieux comprendre, exagérons un peu : si les œufs restent 10 minutes dans de l'eau à 20°C, ils ne seront pas cuits du tout !

En résumé, plus l'eau de cuisson est froide et moins les œufs cuisent rapidement : si on les plonge dix minutes dans de l'eau à 100°C, ils sont parfaitement cuits. Si l'eau n'est plus qu'à 90°C, il est logique de penser que les œufs seront moins bien cuits.



Remarquez qu'à 7000 mètres, l'épaisseur de l'atmosphère est encore plus faible.

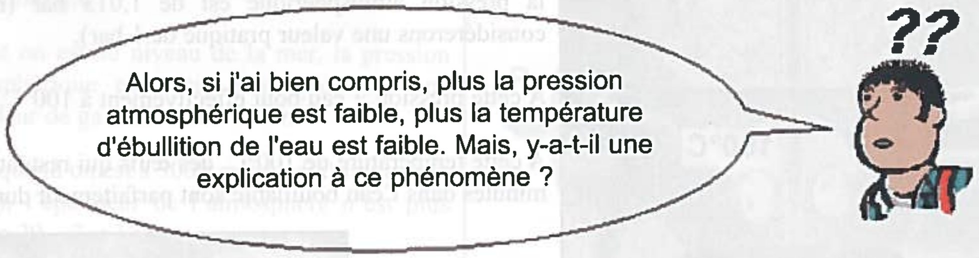
La pression atmosphérique diminue donc encore et elle n'est plus que de 0,4 bar.

A cette pression, l'eau bout à une température encore plus basse, c'est-à-dire 75°C.

Bien sûr, si on laisse les œufs dix minutes dans l'eau à seulement 75°C, ils ne seront pas cuits du tout !

En conclusion, pour faire cuire un œuf dur, il faut lui apporter une quantité d'énergie suffisante.

Plus on monte en altitude, plus la température d'ébullition de l'eau diminue, plus il faudra faire cuire l'œuf *longtemps* afin de lui apporter la quantité de chaleur nécessaire.



Ces phénomènes de variation de la température d'ébullition en fonction de la pression sont très importants pour acquérir une bonne compréhension du circuit frigorifique.

C'est pourquoi, dans le chapitre suivant, nous allons détailler davantage ces notions…

LA RELATION PRESSION - TEMPÉRATURE

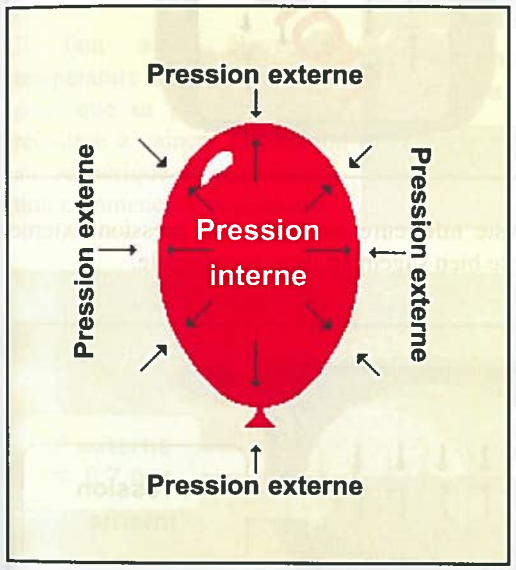
Dans un litre d'eau, il y a une quantité très importante de gouttes d'eau et chacune de ces gouttes est elle-même constituée d'une quantité très importante de molécules d'eau.

Pour définir une molécule d'eau, disons que c'est la plus petite goutte d'eau qui puisse exister et il faudrait un microscope électronique extrêmement puissant pour pouvoir l'observer !



Chacune de ces molécules est comparable à un ballon gonflable qui fait le bonheur des enfants jusqu'au moment où il éclate.

En soufflant dans un ballon de ce type, on constate que le ballon se gonfle. En fait, la membrane du ballon se dilate sous l'effet de la pression de l'air que vous insufflez à l'intérieur.



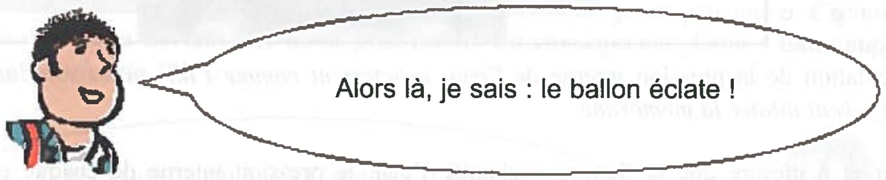
Quand vous soufflez dans un ballon, la membrane est soumise à l'action de deux pressions :

1) Une pression interne engendrée par l'air que vous soufflez à l'intérieur.

2) Une pression externe qui n'est rien d'autre que la pression atmosphérique qui règne en permanence autour de nous.

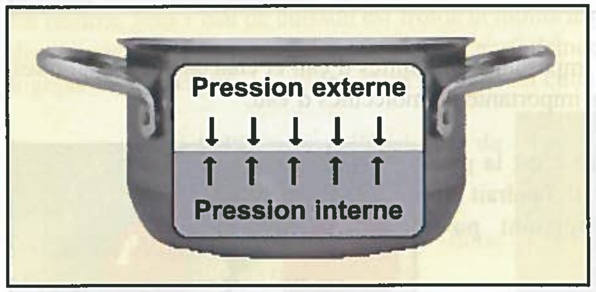
Plus vous soufflez d'air dans le ballon, plus la pression interne augmente et plus le ballon se gonfle.

Et que se passe-t-il si on augmente un peu trop la pression interne ?



En effet, si vous soufflez trop longtemps, la pression interne devient trop importante et le ballon éclate. *Et vous, vous « n'éclatez » jamais lorsque l'on vous met un peu trop la pression ?*

Exactement de la même façon que pour le ballon que nous venons de voir, chaque molécule d'eau (c'est-à-dire chaque minuscule gouttelette) est elle aussi soumise à l'action de deux pressions : l'une externe et l'autre interne.

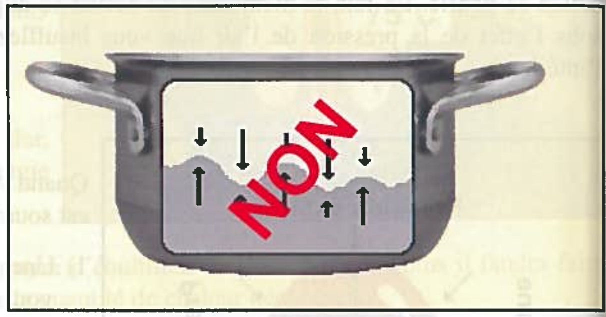


En mettant de l'eau dans une casserole, on constate que la surface de l'eau reste parfaitement plane et horizontale. De plus, l'eau reste bien sagement dans le fond de la casserole (elle ne vous saute généralement pas à la figure !).

Je vais vous poser une question en apparence idiote : *pourquoi ?*

Réfléchissons : nous savons qu'une pression externe et une pression interne s'exercent en chaque point de la surface du liquide. *Notez bien que dans notre exemple, la pression externe est provoquée par la pression atmosphérique.*

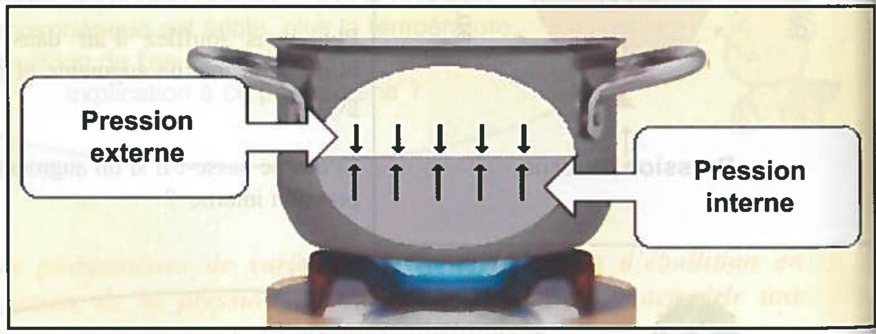
Tout d'abord, si ces pressions n'étaient pas rigoureusement identiques en chaque point, la surface de l'eau ne serait pas plane, mais plutôt ondulée (avec des creux et des bosses) : ce n'est pas le cas.



Les pressions sont donc uniformément réparties en chaque point, c'est pourquoi la surface de l'eau reste parfaitement plane et horizontale.

Bien sûr, tant que la pression interne de l'eau reste inférieure ou égale à la pression externe (c'est-à-dire à la pression atmosphérique), l'eau reste bien sagement dans la casserole.

A présent, si nous mettons la casserole sur un réchaud, l'eau va recevoir de l'énergie sous forme de chaleur. Cette énergie provoque une augmentation de la pression interne de l'eau, *exactement comme l'air qu'on soufflait dans le ballon faisait dilater la membrane.*

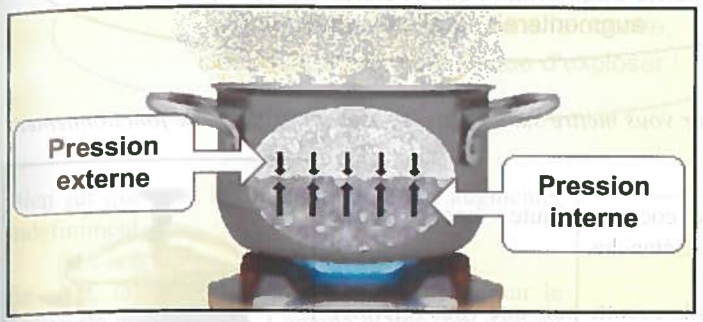


Au fur et à mesure que la flamme réchauffe l'eau, la pression interne de chaque gouttelette augmente de plus en plus. Mais la pression externe, (c'est-à-dire la pression atmosphérique), ne change pas.

Vous commencez à comprendre ?

Lorsque la pression interne devient suffisamment importante, la pression externe n'est plus suffisante pour maintenir l'eau dans la casserole.

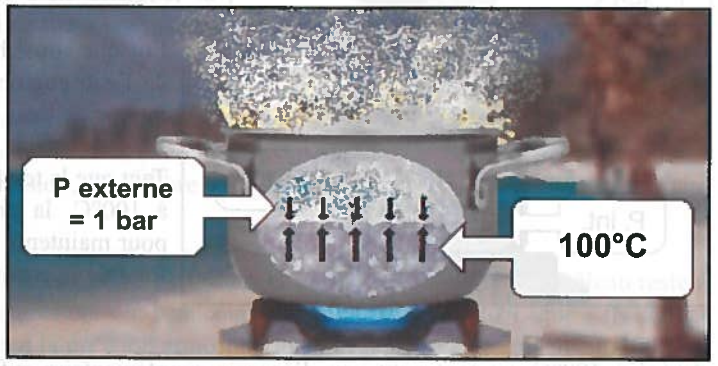
A ce moment, les molécules d'eau éclatent et se transforment en molécules gazeuses qui, plus légères que l'air, s'échappent de la casserole.



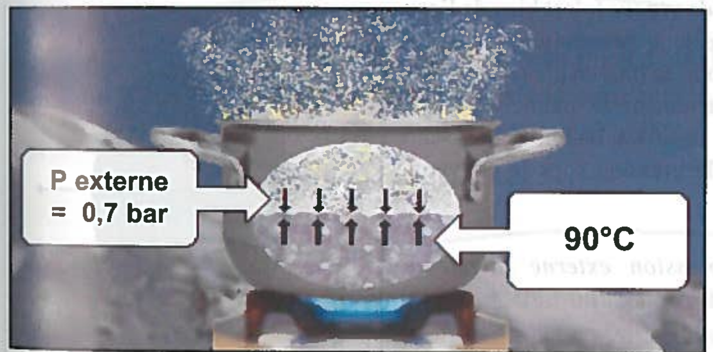
C'est pourquoi des grosses bulles de vapeur d'eau viennent éclater à la surface, ce qui provoque une diminution du niveau du liquide.

Bien qu'on continue à chauffer, la température n'augmente plus. Toute la chaleur du réchaud ne sert plus alors qu'à provoquer l'éclatement des molécules d'eau et le changement d'état : *c'est le fameux palier de vaporisation !*

Au niveau de la mer, nous avons vu que la pression atmosphérique (et donc la pression externe) est de 1 bar.

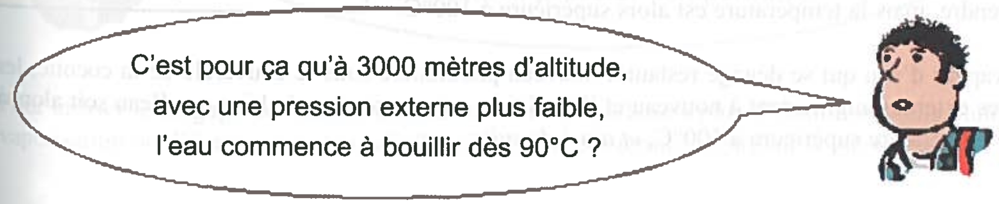


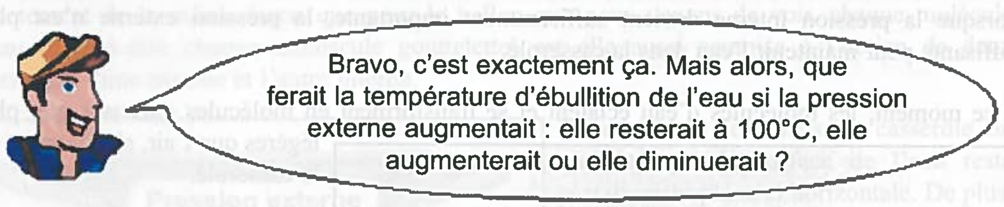
Il faut alors élever la température de l'eau à 100°C pour que sa pression interne réussisse à vaincre la pression atmosphérique et que l'ébullition commence à se produire.



En montagne, lorsque vous montez en altitude, l'épaisseur de l'atmosphère diminue. Cela provoque une réduction de la pression atmosphérique et donc de la pression externe.

La pression externe étant plus faible qu'au niveau de la mer, la pression interne nécessaire pour provoquer l'éclatement des molécules d'eau devient elle aussi plus faible. En conséquence, l'eau va commencer à bouillir en dessous de 100°C.



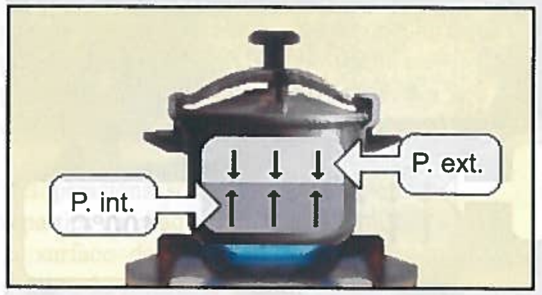


Et vous, qu'en pensez-vous ? Pour vous mettre sur la piste, pensez au principe de fonctionnement d'une cocotte minute.



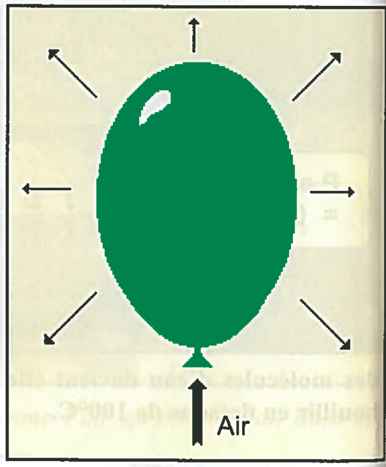
Vous savez tous ce qu'est une cocotte minute : une casserole spéciale surmontée d'un couvercle étanche.

Quand vous versez de l'eau dans la cocotte puis que vous refermez le couvercle, *l'eau va dans le fond de la cocotte et de l'air à la pression atmosphérique reste prisonnier sous le couvercle.*



Lorsque vous chauffez la cocotte, la température de l'eau augmente. Simultanément, la pression interne de l'eau augmente.

Tant que la température de l'eau reste inférieure à 100°C, la pression externe reste suffisante pour maintenir l'eau sous forme liquide dans le fond de la cocotte.



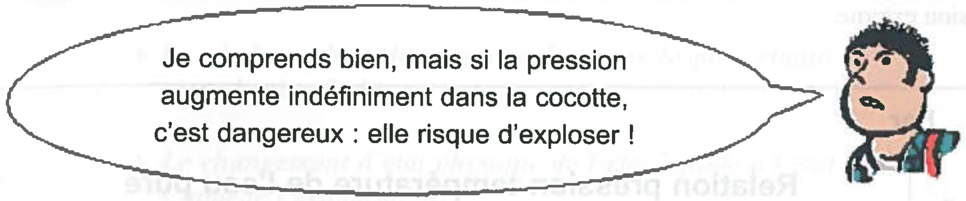
Arrivé à 100°C, un tout petit peu d'énergie supplémentaire suffit à faire éclater les premières molécules d'eau. Ces molécules de vapeur (c'est bien de l'eau, mais sous forme gazeuse) restent prisonnières sous le couvercle de la cocotte : il y a donc de plus en plus de gaz sous le couvercle. Cela produit exactement le même effet que lorsque vous soufflez de l'air dans un ballon (c'est-à-dire que vous y rajoutez du gaz) : la pression sous le couvercle augmente.

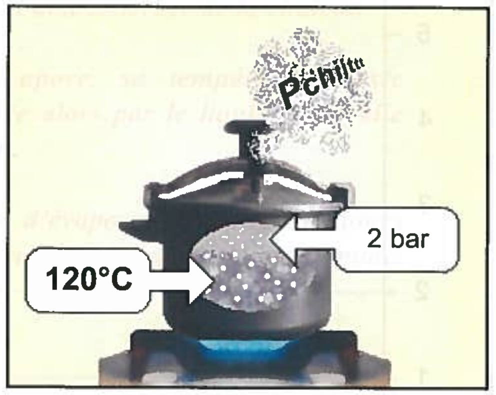
A ce moment, puisque la pression externe augmente, l'ébullition s'arrête bien que l'eau soit à 100°C.

Mais, comme le réchaud continue à chauffer, *les forces internes de l'eau augmentent à nouveau* et dès qu'elles redeviennent supérieures aux forces externes l'ébullition peut reprendre, mais la température est alors supérieure à 100°C.

La vapeur d'eau qui se dégage restant à nouveau prisonnière sous le couvercle de la cocotte, les forces externes augmentent à nouveau et l'ébullition est encore stoppée bien que l'eau soit alors à une température supérieure à 100°C, *et ainsi de suite...*

Le même phénomène continuant sans cesse, la température de l'eau augmente au fur et à mesure que la pression externe augmente.



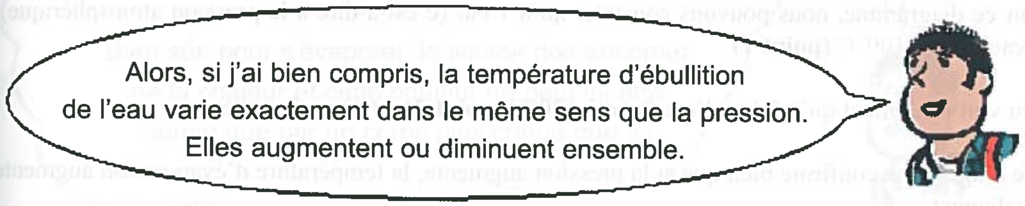


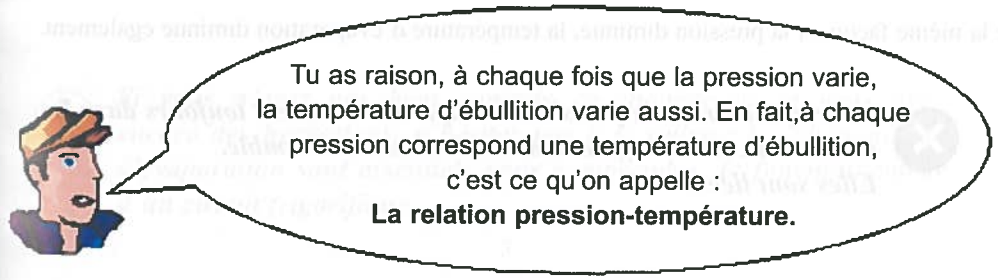
Bien sûr que non, la pression ne va pas augmenter indéfiniment.

En effet, le fabricant a prévu une soupape sur le couvercle de la cocotte. Lorsque la pression devient trop élevée, la soupape se met à tourner en expulsant de la vapeur. A ce moment, de la même façon qu'un ballon se dégonfle quand l'air s'en échappe, la pression dans la cocotte est maintenue à une valeur raisonnable.

Cette soupape se met à tourner en expulsant de la vapeur d'eau dès que la pression dans la cocotte atteint environ 2 bar. A cette pression, l'équilibre avec les forces internes de l'eau se fait à une température d'environ 120°C.

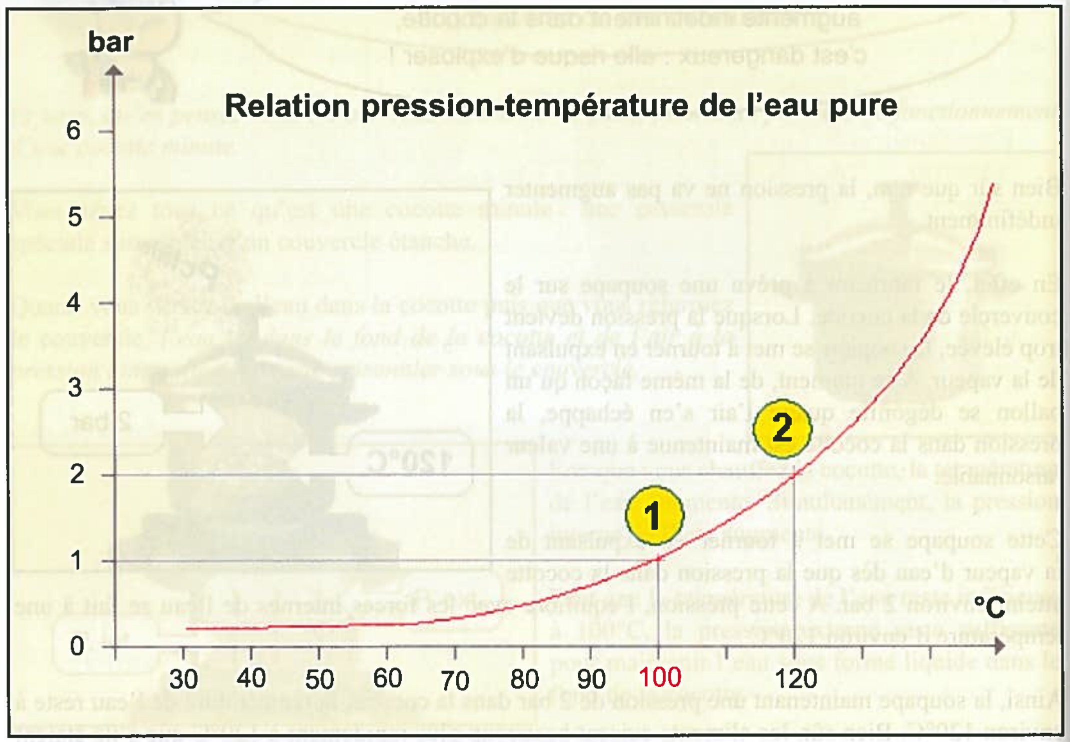
Ainsi, la soupape maintenant une pression de 2 bar dans la cocotte, la température de l'eau reste à environ 120°C. Bien sûr, les aliments cuisent beaucoup plus rapidement à 120°C que s'ils étaient dans une casserole traditionnelle, à la pression atmosphérique, avec de l'eau à seulement 100°C.





Pour utiliser le langage des initiés, dorénavant nous ne parlerons plus d'ébullition, mais plutôt de vaporisation ou d'évaporation (*pas d'affolement*, tous ces termes signifient la même chose).

A titre informatif, vous trouverez sur le diagramme ci-dessous la relation pression-température de l'eau qui permet de connaître la température d'évaporation de l'eau en fonction de la pression externe.



Sur ce diagramme, nous pouvons constater qu'à 1 bar (c'est-à-dire à la pression atmosphérique), l'eau bout à 100°C (**point 1**).

On voit également qu'à 2 bar, l'eau bout à 120°C (**point 2**), et ainsi de suite…

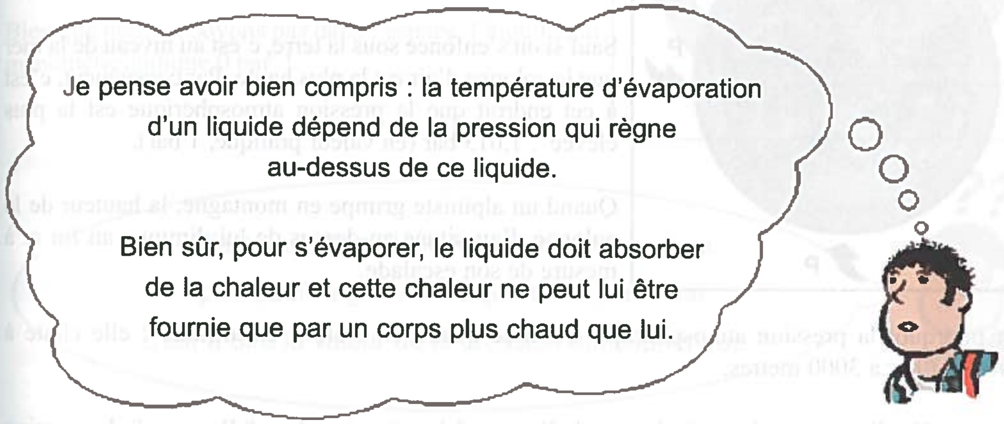
Ce diagramme confirme bien que si la pression augmente, la température d'évaporation augmente également.

De la même façon, si la pression diminue, la température d'évaporation diminue également.

La température et la pression d'évaporation varient toujours dans le même sens. Elles augmentent ou diminuent ensemble. Elles sont liées.

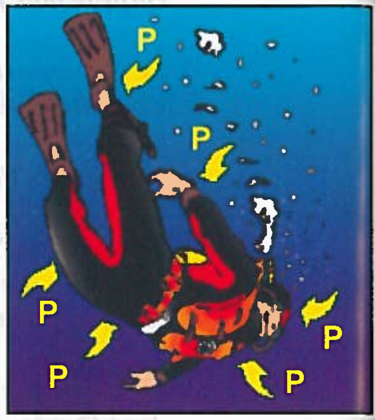
De tout ce que nous avons vu jusqu'à présent, certaines notions sont particulièrement essentielles. Nous allons les résumer...

- ***Il ne peut y avoir transfert de chaleur entre deux corps que si ces deux corps sont à des températures différentes.***
- ***La chaleur s'écoule toujours du corps le plus chaud vers le corps le plus froid.***
- ***Le changement d'état physique de l'état liquide à l'état vapeur s'appelle l'évaporation.***
- ***Pour qu'un liquide s'évapore, il doit absorber de la chaleur.***
- ***Pendant qu'un liquide s'évapore, sa température reste constante. La chaleur absorbée alors par le liquide s'appelle chaleur latente de vaporisation.***
- ***La température et la pression d'évaporation varient toujours dans le même sens. Elles augmentent ou diminuent ensemble. Elles sont liées.***



Si vous n'avez pas bien compris ce chapitre ou si vous avez encore des hésitations, n'hésitez pas à le relire : les phénomènes d'évaporation sont essentiels pour comprendre le fonctionnement d'un circuit frigorifique.

PRESSION RELATIVE et PRESSION ABSOLUE

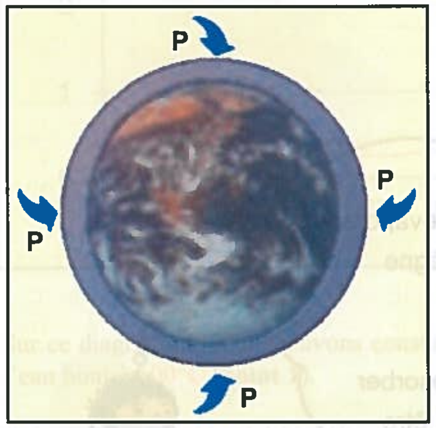


Nous avons déjà parlé de la pression mais, avant de continuer, il est important de préciser encore cette notion.

Souvenez- vous du plongeur, plus il descend dans l'eau et plus la pression **P** qu'il subit augmente.

La pression est alors provoquée par le poids de la colonne d'eau située au-dessus du plongeur.

Plus le plongeur descend, plus la hauteur de la colonne d'eau devient importante et plus la pression devient élevée (elle augmente d'environ 1 bar tous les 10 mètres de profondeur).



De la même manière, la pression atmosphérique est due à la hauteur de la colonne d'air.

Plus la colonne d'air est haute, plus la pression est élevée.

Sauf si on s'enfonce sous la terre, c'est au niveau de la mer que la colonne d'air est la plus haute. Par conséquent, c'est à cet endroit que la pression atmosphérique est la plus élevée : 1,013 bar (en valeur pratique, 1 bar).

Quand un alpiniste grimpe en montagne, la hauteur de la colonne d'air située au-dessus de lui diminue au fur et à mesure de son escalade.

C'est pourquoi la pression atmosphérique diminue quand on s'élève en altitude : elle chute à environ 0,7 bar à 3000 mètres.

Après son décollage, quand une fusée sort de l'atmosphère et arrive dans " l'espace " la pression atmosphérique n'existe plus, *il n'y a plus du tout d'air ni aucun gaz* : **c'est le vide absolu** !



Par définition, le vide absolu est la plus faible pression qui puisse exister.

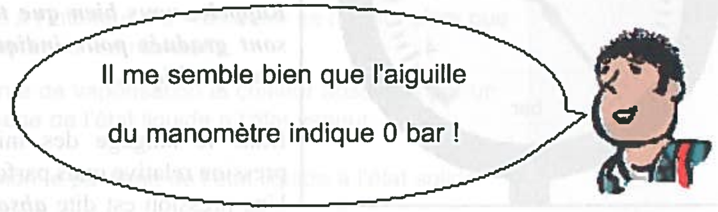
On dit que la pression est alors égale à 0 bar absolu.

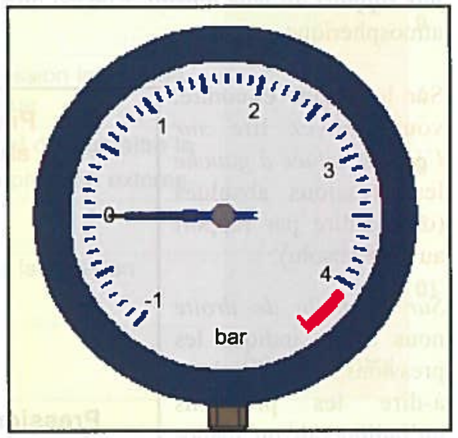
Lorsqu'une pression est comparée au vide absolu, on parle de pression absolue. Une pression absolue est toujours supérieure ou égale à 0 bar.



Lorsque vous désirez contrôler la pression de gonflage de vos pneus, vous allez à la station service et vous utilisez un contrôleur de pression appelé un manomètre.

A propos, réfléchissez un peu, quelle est la pression indiquée par l'aiguille de ce contrôleur avant que vous ne le raccordiez sur la valve du pneu ?

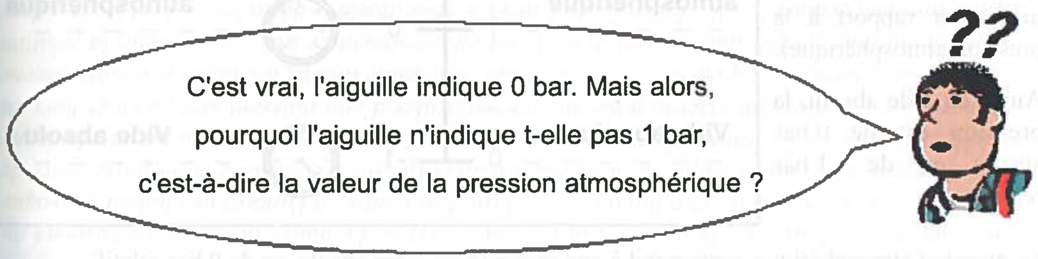


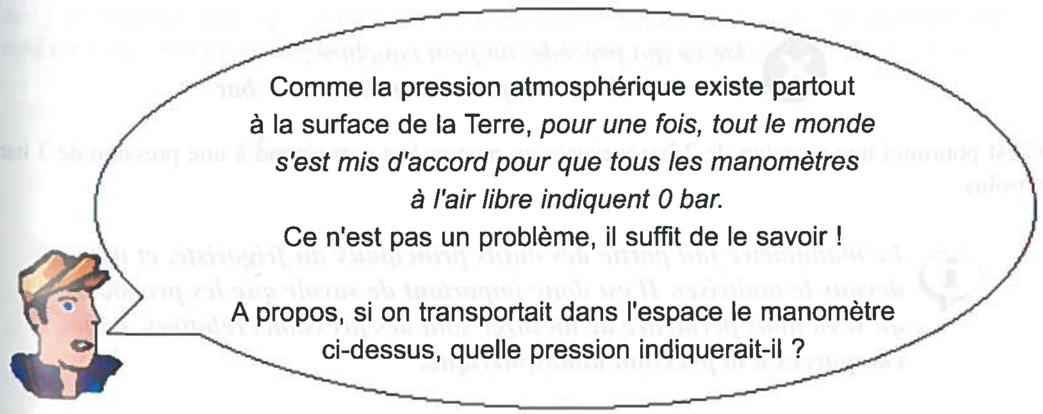


Effectivement, avant qu'il soit raccordé sur la valve du pneu, le manomètre est à l'air libre.

Il mesure bien alors la pression atmosphérique et pourtant, l'aiguille indique 0 bar.

Bien que nous ne soyons pas dans l'espace, l'aiguille du manomètre indique 0 bar !







Nous savons que la pression atmosphérique est égale à 1 bar au niveau de la mer.

Si un manomètre indique 0 bar quand il mesure la pression atmosphérique, quand il sera dans le vide absolu, il indiquera 1 bar de moins, c'est-à-dire –1 bar.

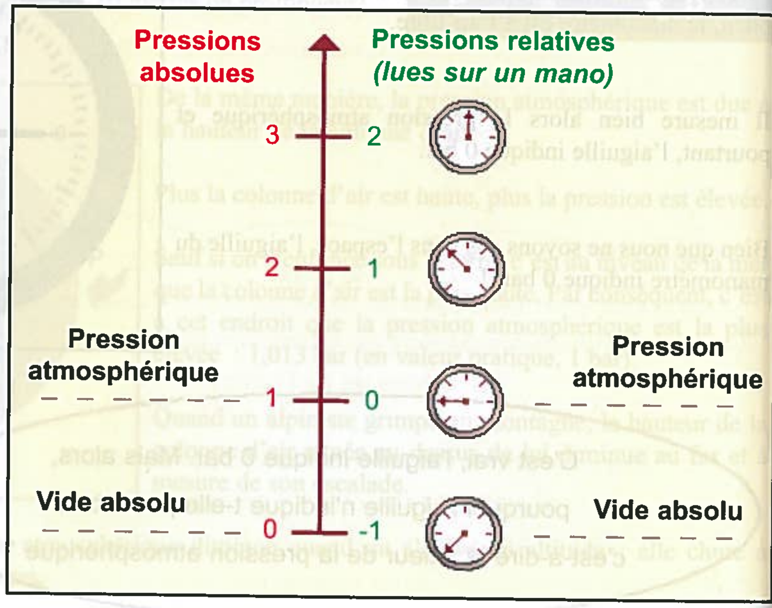
Rappelez-vous bien que tous les manomètres usuels sont gradués pour indiquer 0 bar sous la pression atmosphérique.

Dans le langage des initiés, on parle souvent en pression relative mais parfois aussi en pression absolue. Une pression est dite ***absolue*** quand elle est **mesurée *par rapport au vide absolu.*** Elle est dite relative quand elle est mesurée par rapport à la pression atmosphérique.

Sur le graphe ci-contre, vous pouvez lire *sur l'échelle située à gauche* les pressions absolues (c'est-à-dire par rapport au vide absolu).

Sur l'échelle de droite nous avons indiqué les pressions relatives (c'est-à-dire les pressions qu'indiquerait un manomètre par rapport à la pression atmosphérique).

Ainsi, au vide absolu, la pression est de 0 bar absolu ou de –1 bar relatif.



La pression atmosphérique correspond à une pression de 1 bar absolu ou de 0 bar relatif.

De ce qui précède, on peut conclure :
Pression absolue = pression relative + 1 bar

C'est pourquoi une pression de 2 bar mesurée au manomètre correspond à une pression de 3 bar absolus.

Le manomètre fait partie des outils principaux du frigoriste, et nous devons le maîtriser. Il est donc important de savoir que les pressions qu'il va nous permettre de mesurer sont des pressions relatives, donc comparées à la pression atmosphérique.

EXERCICE DE SYNTHÈSE n°3 : Ces affirmations sont-elles exactes ?

		VRAI	FAUX
1	Plus l'altitude est élevée et plus la température d'ébullition de l'eau est faible		
2	Pendant l'ébullition de l'eau dans une casserole, la température reste constante mais le niveau de l'eau diminue dans la casserole		
3	L'eau chaude qui circule à l'intérieur d'un radiateur se refroidi alors que l'air froid qui circule à l'extérieur se réchauffe		
4	On appelle chaleur latente de vaporisation la chaleur absorbée par un liquide lors de son passage de l'état liquide à l'état vapeur.		
5	On appelle palier de fusion le passage de l'état liquide à l'état solide		
6	Lorsqu'un apport de chaleur modifie la température d'un corps, on parle de chaleur sensible.		
7	Pour que de l'eau entre en ébullition il faut que la pression interne du liquide devienne inférieure à la pression atmosphérique		
8	La relation pression-température de l'eau nous permet de connaître la température d'évaporation de l'eau en fonction de la pression externe.		
9	4 bar absolus = 5 bar relatifs		
10	Un manomètre bien étalonné devrait indiquer 0 bar à la pression atmosphérique		

CORRIGÉ DE L'EXERCICE

	FAUX	VRAI
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

1 : Vrai. Alors que l'ébullition de l'eau se produit à 100°C au niveau de la mer, elle n'est plus par exemple que de 90°C à 3000 m d'altitude. l'eau s'évapore - 2 : Vrai. Puisque de l'eau sort de la casserole sous forme de vapeur d'eau, le niveau dans la casserole diminue forcément - 3 : Vrai - 4 : Vrai. - 5 : Faux, c'est l'inverse. Le palier de fusion correspond au passage de l'état solide à l'état liquide. - 6 : Vrai. Par contre, si l'apport de chaleur provoque un changement d'état physique, la température du corps reste constante et on parle alors de chaleur latente. - 7 : Faux. C'est l'inverse. Il faut que la pression interne du liquide devienne supérieure à la pression externe pour que les molécules d'eau puissent être éjectées hors du liquide sous forme de vapeurs. - 8 : Vrai. Pour un liquide donné, à chaque pression externe correspond une température d'ébullition. C'est effectivement ce que l'on appelle la relation pression-température. - 9 : Faux. C'est l'inverse (Bar absolu = Bar relatif + 1) et ici on a donc 4 bar relatifs = 4 + 1 = 5 bar absolus. - 10 : Vrai. C'est du reste ainsi qu'on les étalonne.

L'EAU EST-ELLE UN BON FLUIDE FRIGORIGÈNE ?

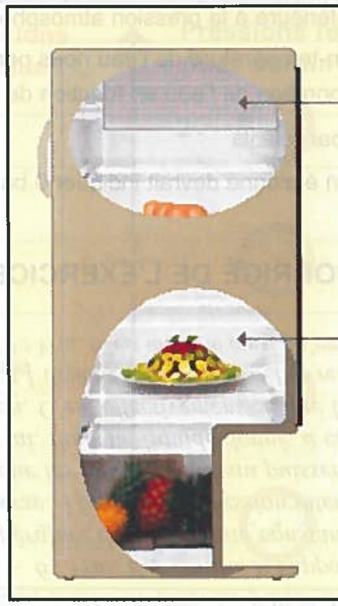
Rappelez-vous ces 2 règles fondamentales :

Il ne peut y avoir transfert de chaleur entre deux corps que si ces deux corps sont à des températures différentes.

La chaleur s'écoule toujours du corps le plus chaud vers le corps le plus froid.

Dans notre frigo, si nous voulons maintenir la température des aliments à 4°C, il faudra donc obligatoirement que la température de l'échangeur froid soit inférieure à ces 4°C.

Pour maintenir 4°C dans un réfrigérateur, la température de l'échangeur froid doit obligatoirement être inférieure à ces 4°C.



Nous avons vu qu'il était possible d'abaisser la température d'évaporation de l'eau en faisant chuter la pression (par exemple en montant en altitude).

Alors, pourquoi ne pas faire évaporer de l'eau à 0°C par exemple dans l'échangeur froid de notre frigo ?

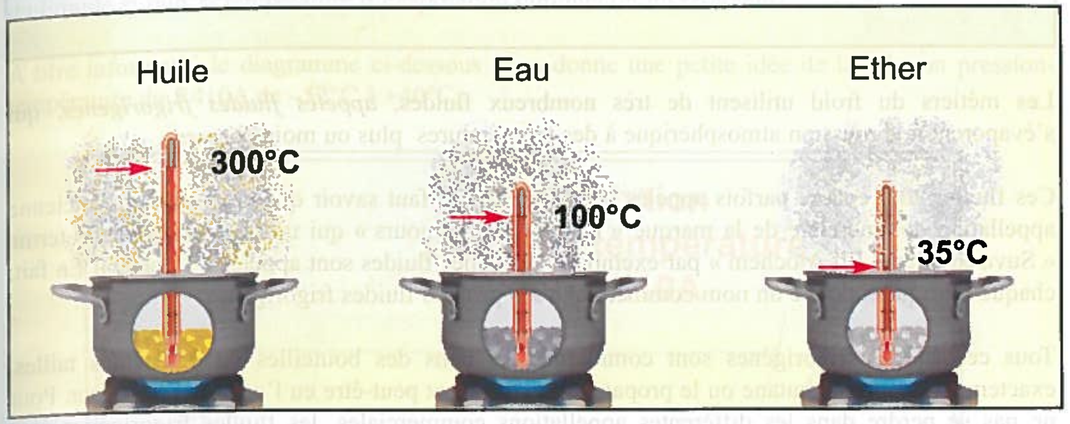
Pour faire bouillir de l'eau à 0°C, il faudrait que la pression soit vraiment très faible. Aussi, à moins de transporter le frigo dans l'espace ou d'utiliser des pompes à vide très sophistiquées (et donc très chères), nous serons obligés de trouver pour notre frigo un autre fluide que l'eau.

Vous savez certainement que tous les liquides n'ont pas la même température d'ébullition. Alors, pourquoi ne pas utiliser de l'huile ? Par exemple, l'huile de cuisson bout aux alentours de 300°C.

Malheureusement, si cette température convient parfaitement pour les frites, elle semble beaucoup trop élevée pour notre frigo.

Pourquoi ne pas utiliser de l'éther qui se vaporise à 35°C (à la pression atmosphérique bien sûr) ? C'est déjà mieux que l'huile mais, avec un échangeur froid à 35°C, on ne pourra guère abaisser la température dans le frigo en dessous de ces 35°C. *Ce ne sera pas terrible pour boire l'apéritif !*

Pour fabriquer des glaçons dans notre frigo, il faut donc trouver un corps dont la température d'ébullition soit inférieure à 0°C.



Je vais peut-être dire une bêtise, mais pourquoi n'utilise-t-on pas de l'éther ? Si on abaissait la pression en dessous de la pression atmosphérique, les forces externes vont diminuer et comme pour l'eau en altitude, la température d'évaporation de l'éther va elle aussi chuter. Ne pourrait-on pas alors descendre en dessous de 0°C ?



En théorie, ton raisonnement est parfaitement exact et ça pourrait tout à fait marcher. Cependant, *dans la pratique*, cela poserait de nombreux problèmes qui font de l'éther un fluide peu intéressant. Du reste, on ne trouve pas dans le commerce des frigos qui fonctionnent à l'éther, d'autant plus que les frigoristes ont à leur disposition des fluides bien plus performants !



OK, abandonnons l'éther, mais dis-moi, quels sont ces fluides si intéressants dont tu me parles ?



Quels sont ces fluides mystérieux utilisés par les frigoristes ? C'est ce que nous commencerons à voir dans le prochain chapitre…

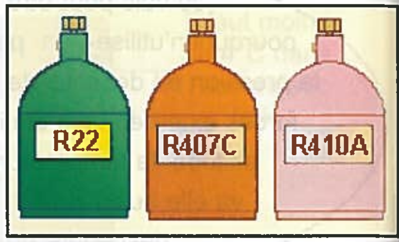
LE FLUIDE FRIGORIGÈNE R410A

Les métiers du froid utilisent de très nombreux fluides, *appelés fluides frigorigènes,* qui s'évaporent à la pression atmosphérique à des températures plus ou moins basses.

Ces fluides sont encore parfois appelés les « fréons ». Il faut savoir que c'est en fait l'ancienne appellation commerciale de la marque « Dupont De Nemours » qui utilise maintenant le terme « Suva ». Chez « Elf Atochem » par exemple, les mêmes fluides sont appelés « Forane ». En fait, chaque fabriquant donne un nom commercial à ses propres fluides frigorigènes.

Tous ces fluides frigorigènes sont commercialisés dans des bouteilles de différentes tailles, exactement comme le butane ou le propane que vous avez peut-être eu l'occasion d'utiliser. Pour ne pas se perdre dans les différentes appellations commerciales, les fluides frigorigènes sont repérés par la lettre **R** (R comme **R**éfrigérant).

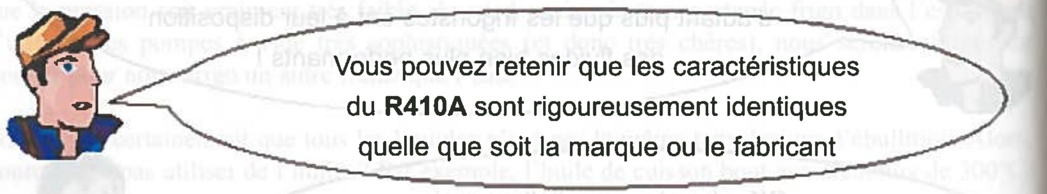
Jusqu'à ces dernières années, le R22 était le fluide frigorigène le plus utilisé en climatisation. Sachez toutefois qu'il est dorénavant interdit sur toutes les installations neuves depuis le 01 janvier 2004 et que les fluides les plus utilisés actuellement en clim individuelle et pompes à chaleur sont principalement le R410A, et dans une moindre mesure le R407C.



Nous consacrerons un chapitre spécial aux spécificités du R407C et à l'évolution de la réglementation un peu plus tard.

Nous prendrons comme support d'apprentissage le R410A puisque c'est le fluide que vous aurez l'occasion de rencontrer le plus souvent.

Il est très important de savoir que le R410A est rigoureusement identique quel que soit le fabricant : c'est *un peu* comme l'essence Total, Shell, Elf, etc. Nous pourrons donc tout à fait mélanger du Suva 410A avec du Forane 410A par exemple : ces deux fluides sont rigoureusement identiques.

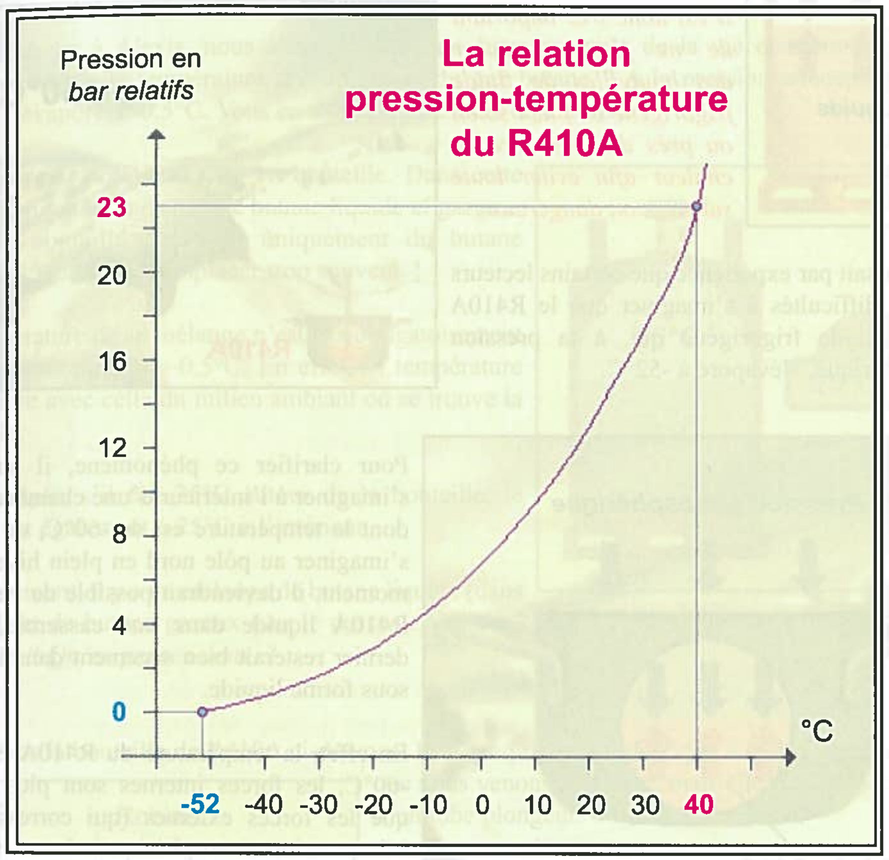


Le R410A est particulièrement intéressant car à la pression atmosphérique il s'évapore à -52°C (au lieu de 100°C pour l'eau, 35°C pour l'éther ou 300°C pour l'huile des frites).

Vu sa faible température d'évaporation, le R410A permettra facilement d'obtenir une température inférieure à 0°C dans l'échangeur froid de notre frigo, ce qui est notre objectif, ne l'oublions pas.

La relation pression-température du fluide frigorigène R410A obéit exactement aux mêmes règles générales que l'eau (dont nous avons tracé la courbe *page 40*) : plus la pression diminue au-dessus du liquide et plus la température d'évaporation diminue (et inversement).

A titre informatif, le diagramme ci-dessous vous donne une petite idée de la relation pression-température du R410A de –52°C à +40°C.

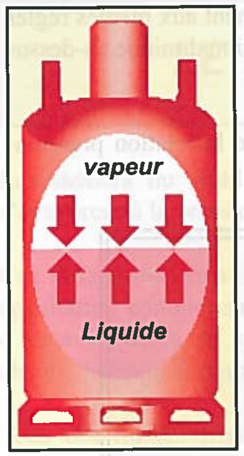


Vous pouvez lire sur le diagramme qu'à **0 bar relatif** (donc à la pression atmosphérique), la température d'évaporation du **R410A** est d'environ **–52°C.**

A **23 bar**, sa température d'évaporation augmente jusqu'à environ **40°C**.

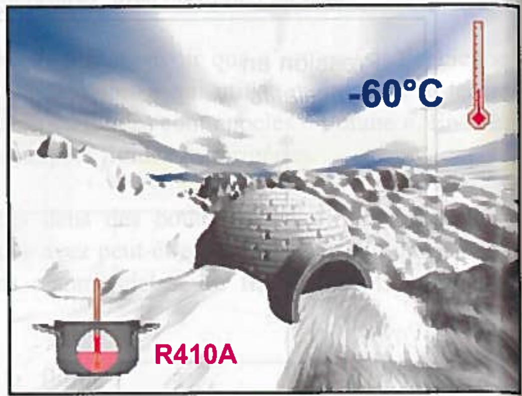
Vous pouvez donc constater sur ce diagramme que, lorsque la pression d'évaporation augmente, la température d'évaporation augmente également (vous devriez en connaître les raisons : rappelez-vous l'explication vue *page 36* avec les pressions externes et internes).

Ainsi, la pression et la température d'évaporation du R410A sont liées et évoluent dans le même sens, exactement comme le fait l'eau, mais avec une relation pression-température qui se fait à des valeurs totalement différentes.

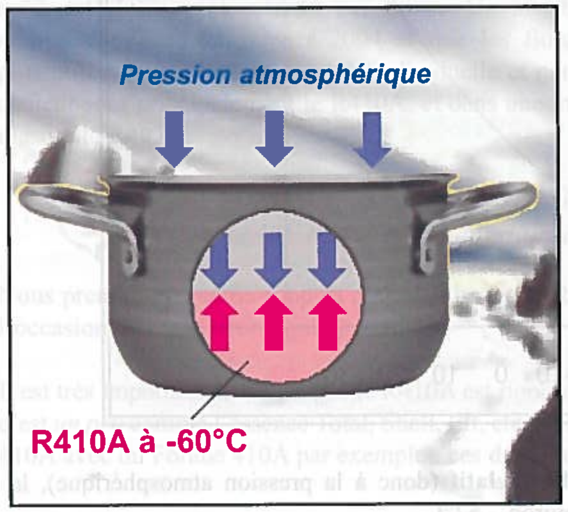


Observez l'intérieur de la bouteille de R410A ci-contre. Il y a du liquide dans le fond et de la vapeur sur le dessus. La pression interne du liquide est en équilibre avec la pression externe de la vapeur. Si la température de la bouteille augmente, la pression du fluide frigorigène va également augmenter en suivant la relation pression-température pour donner environ 13,4 bar à 20°C, 17,7 bar à 30°C, 23 bar à 40°C, 29,5 bar à 50°C, etc.

Il est donc très important de ne jamais stocker des bouteilles de fluide frigorigène en plein soleil ou près d'une source de chaleur afin éviter toute surpression dangereuse.



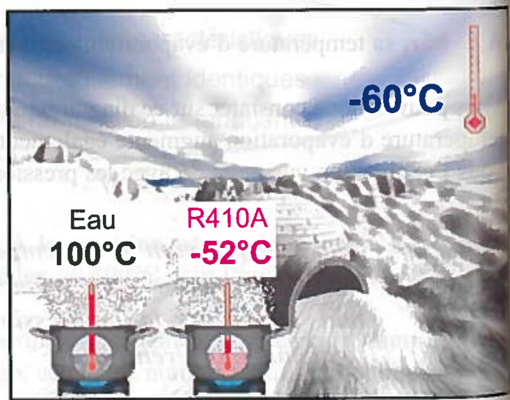
L'auteur sait par expérience que certains lecteurs ont des difficultés à s'imaginer que le R410A est un fluide frigorigène qui, à la pression atmosphérique, s'évapore à -52°C.



Pour clarifier ce phénomène, il suffit de s'imaginer à l'intérieur d'une chambre froide dont la température est de -60°C, ou encore s'imaginer au pôle nord en plein hiver. A ce moment, il deviendrait possible de verser du R410A liquide dans une casserole, et ce dernier resterait bien sagement dans le fond, sous forme liquide.

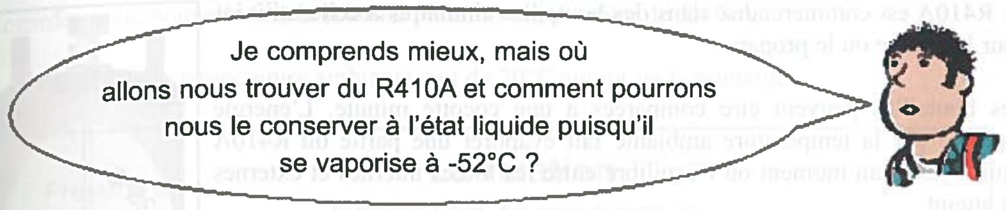
En effet, la température du R410A étant de -60°C, les forces internes sont plus faibles que les forces externes (qui correspondent à la pression atmosphérique). La surface du fluide contenu dans la casserole reste calme et plane.

Pour provoquer l'évaporation du R410A, il suffirait alors de le chauffer sur un réchaud afin d'augmenter ses forces internes.

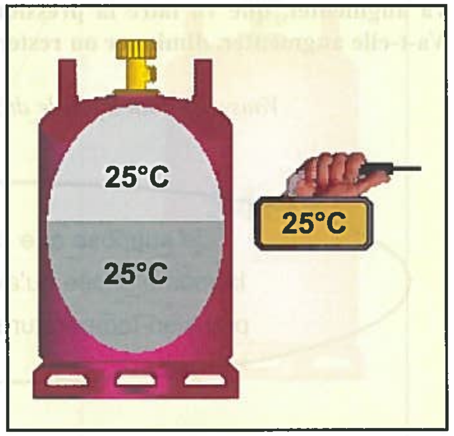


Puisque le liquide est soumis à la pression atmosphérique, lorsque sa température atteindra -52°C, l'évaporation commencera.

Comprenez bien que dans les mêmes conditions, l'évaporation de l'eau commencerait à 100°C, puisque les forces externes correspondent à la pression atmosphérique.



Pour répondre à Alexis, nous allons prendre un autre exemple de la vie courante. A propos, connaissez-vous la température d'évaporation du gaz butane ? A la pression atmosphérique, le butane s'évapore à -0,5°C. Vous en avez certainement déjà utilisé.



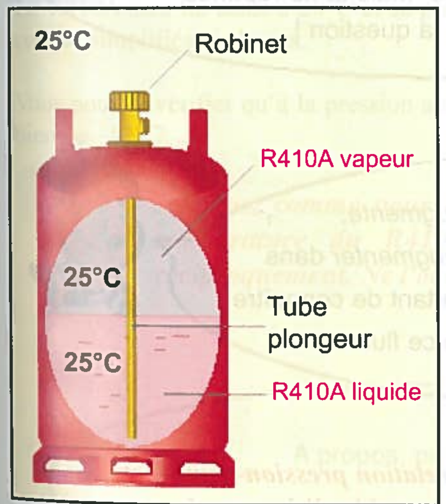
Le butane est commercialisé en bouteille. Dans cette bouteille il y a un mélange de butane liquide et gazeux. Si cette bouteille contenait uniquement du butane gazeux, il faudrait la remplacer trop souvent !

La température de ce mélange n'est pas obligatoirement à une température de –0,5°C. En effet, sa température s'équilibre avec celle du milieu ambiant où se trouve la bouteille.

Par exemple, s'il fait 25°C autour de la bouteille, le butane est également à 25°C à l'intérieur.

Apparemment, il y a un mélange de butane liquide (dans le fond) et de butane gazeux (sur le dessus). Mais, à 25°C, tout le butane ne devrait-il pas être vaporisé ? *Qu'en pensez-vous ?*

Observons la bouteille de R410A ci-dessous. Elle est quasiment identique à la bouteille de butane que nous venons d'étudier, mais elle est équipée *en plus* d'un tube plongeur.



Ce tube permet d'aller puiser du R410A liquide dans fond de la bouteille car, contrairement au butane ou au propane (qui sont utilisés sous forme de gaz), nous allons nous intéresser davantage au R410A à l'état liquide.

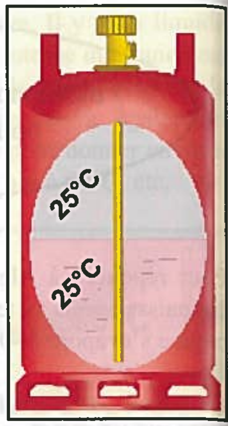
Mais que se passe-t-il exactement dans cette bouteille ?

Apparemment, il y a un mélange de R410A liquide (dans le fond) et de R410A gazeux (sur le dessus).

On peut se poser la même question qu'avec la bouteille de butane ci-dessus : à 25°C, tout le R410A ne devrait-il pas être vaporisé ?

Qu'en pensez-vous ?

Le R410A est commercialisé dans des bouteilles similaires à celle utilisées pour le butane ou le propane.

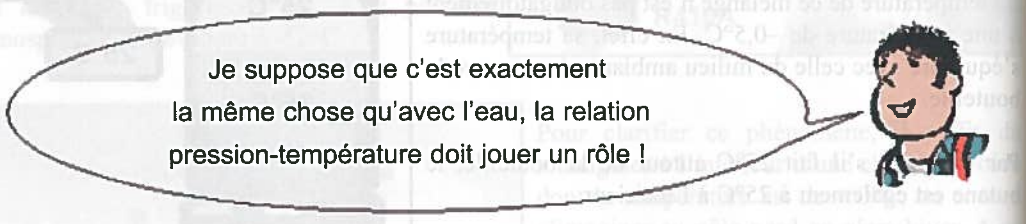


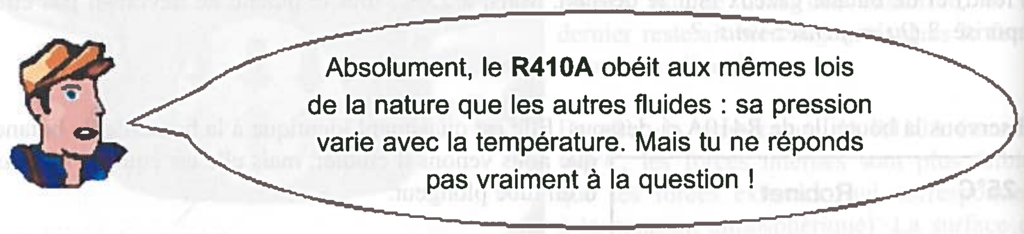
Ces bouteilles peuvent être comparées à une cocotte minute. L'énergie apportée par la température ambiante fait évaporer une partie du R410A liquide jusqu'au moment où l'équilibre entre les forces internes et externes est atteint.

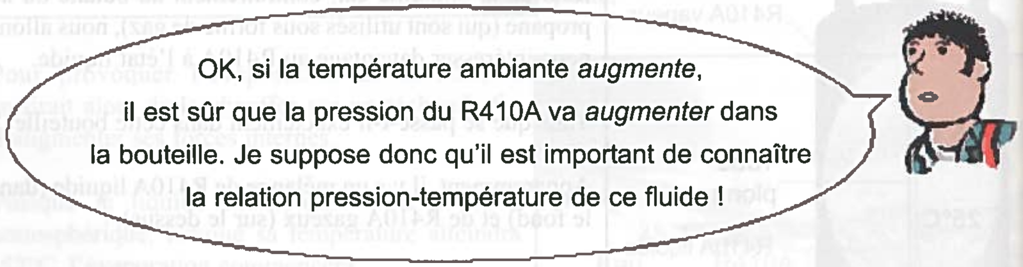
Attention, contrairement à la cocotte minute, il n'y a pas de soupape pour limiter la pression à l'intérieur de cette bouteille.

A propos, lorsque la température ambiante autour de cette bouteille va augmenter, que va faire la pression du R410A dans la bouteille ? Va-t-elle augmenter, diminuer ou rester constante ?

Vous avez tout à fait le droit de répondre avant de continuer votre lecture…



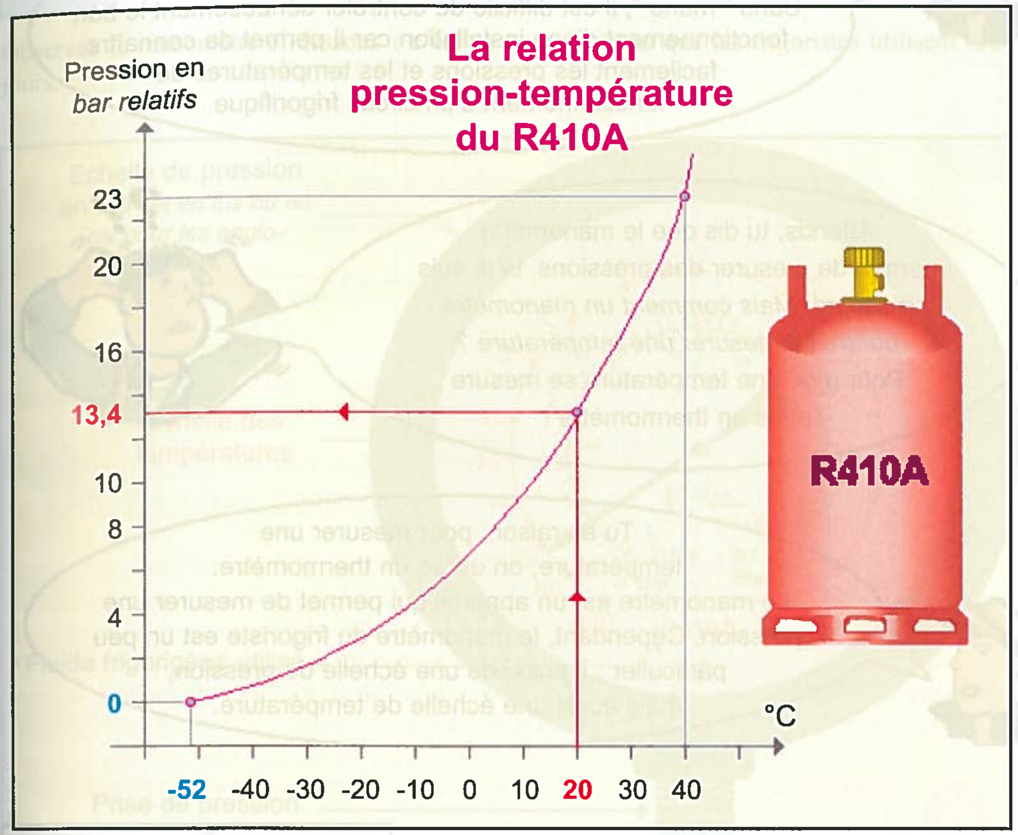




Il n'est pas important de connaître la relation pression–température du R410A mais, si nous voulons être capable d' intervenir sur un circuit frigorifique, c'est une obligation de la comprendre !

Regardons une nouvelle fois la relation pression-température du R410A.

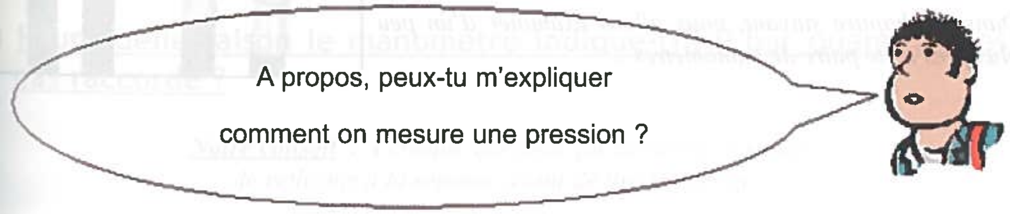
Admettons que la température ambiante soit de 20°C autour de la bouteille.

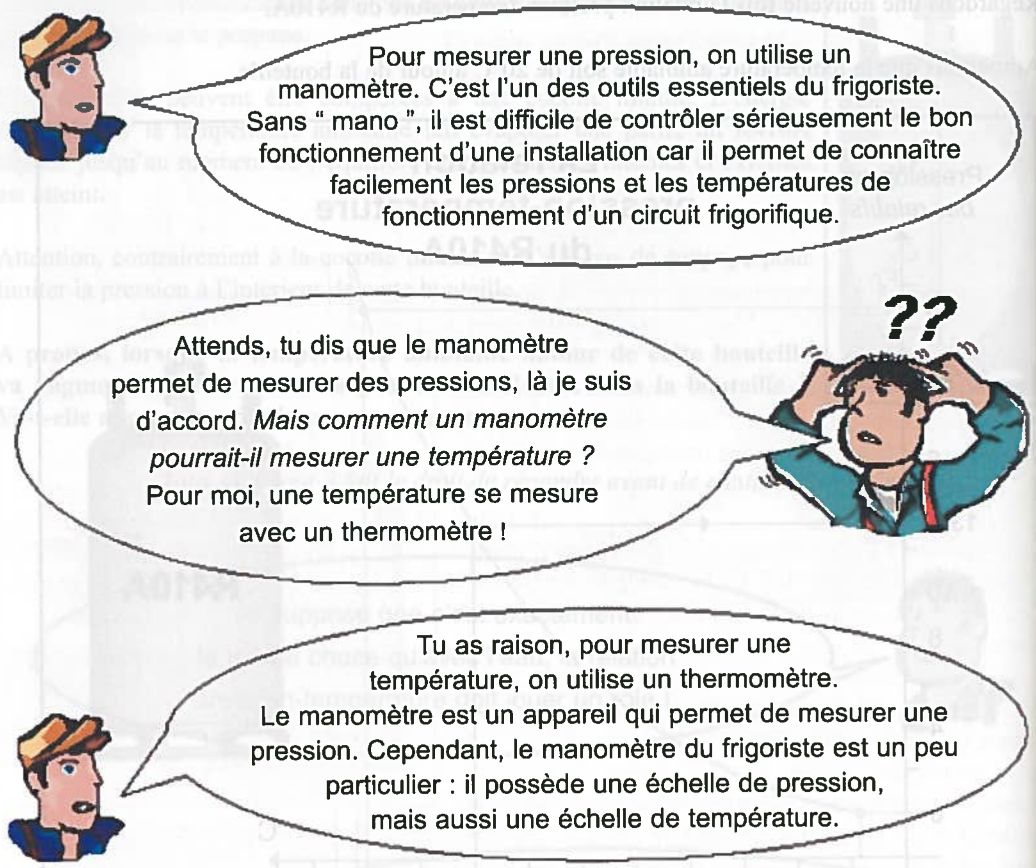


Le R410A sera lui aussi à 20°C et sa pression sera alors d'environ 13,4 bar, comme le montre la courbe simplifiée ci-dessus.

Vous pouvez vérifier qu'à la pression atmosphérique, la température d'évaporation du R410A est bien de –52°C.

De plus, comme pour l'eau, le butane ou le propane, lorsque la température du R410A augmente, la pression augmente et réciproquement. Ne l'oubliez pas, c'est une règle fondamentale.





En effet un manomètre de frigoriste est bien un appareil servant à mesurer une pression.

Toutefois, le cadran de ces manomètres est un peu plus compliqué car il possède *en plus* une ou même plusieurs échelles de température.

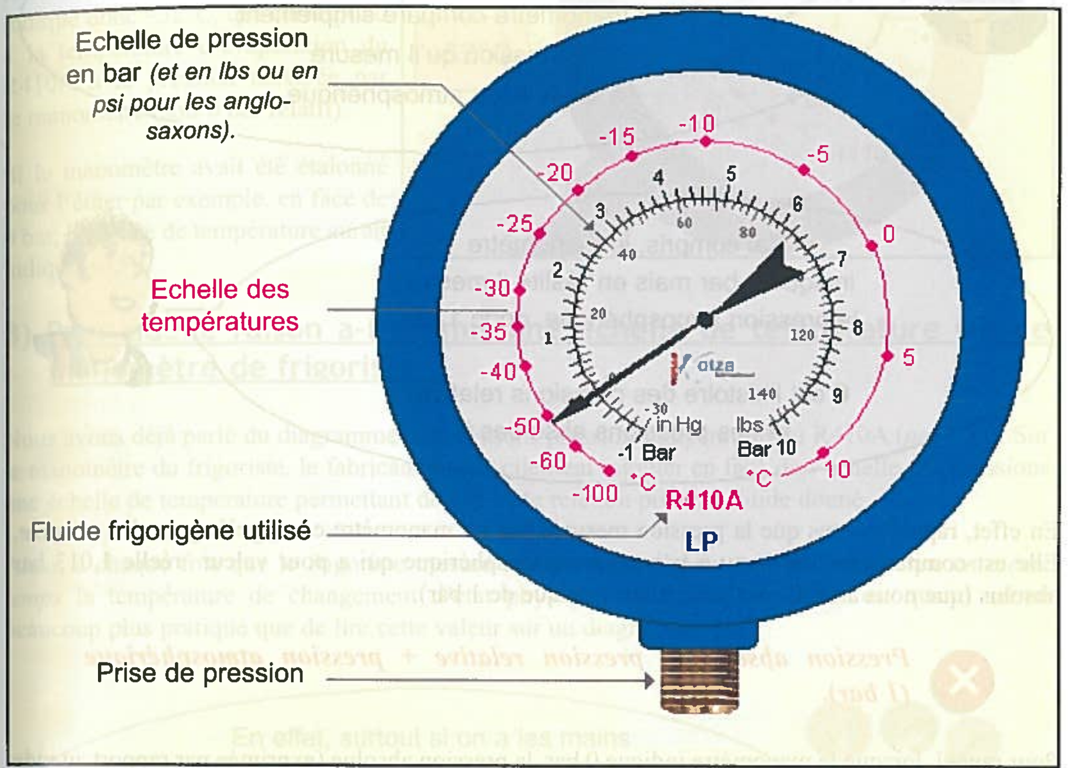
Vous pouvez voir ci-contre l'aspect de l'un des principaux outils du frigoriste : « la paire de manos », souvent appelée « le bipasse » ou parfois « le manifold ».



Dans le chapitre suivant, nous allons examiner d'un peu plus près cette paire de manomètres...

LES MANOMÈTRES DU FRIGORISTE

Observez le manomètre ci-dessous : c'est ce type de mano que les frigoristes utilisent tous les jours.



Nous pouvons constater que cet appareil :

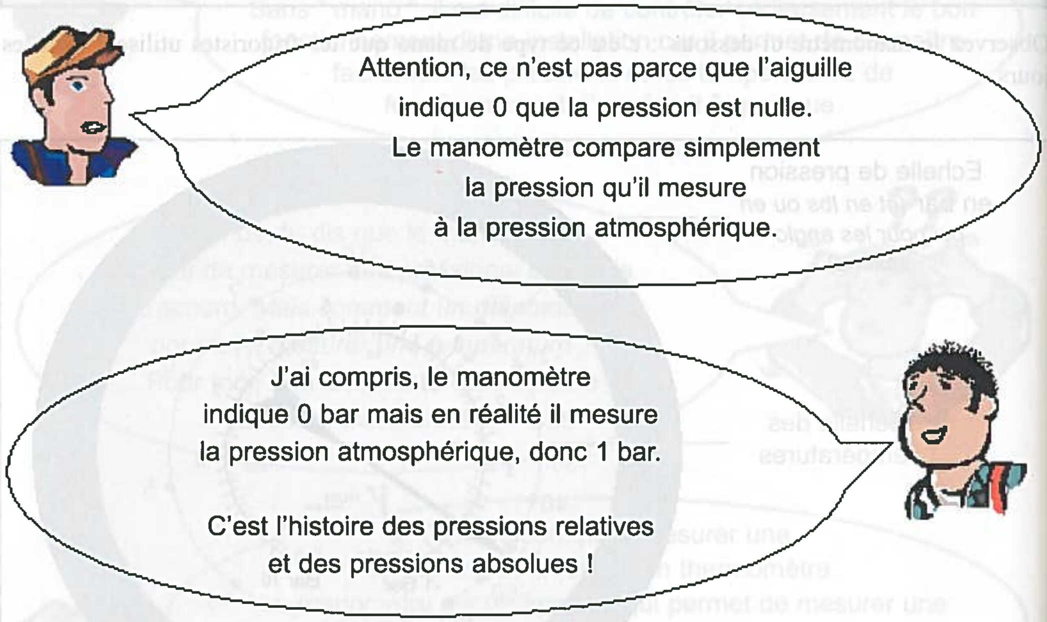
- Est équipé d'une prise de pression qui permet de le raccorder sur l'installation (par l'intermédiaire d'un tube flexible spécial).
- Est équipé de deux échelles de pression (nous utiliserons celle en bar) et d'une échelle de température. Notez que l'aiguille indique 0 bar lorsque le manomètre est à l'air libre.
- Est gradué en température pour le fluide frigorigène R410A.

Avant de continuer notre étude du manomètre de frigoriste, je vous demande de réfléchir aux questions suivantes :

1) Pour quelle raison le manomètre indique-t-il 0 bar quand il n'est pas raccordé ?

Notre conseil *: A chaque question qui va suivre, essayez de réfléchir à la réponse avant de lire le corrigé.*

Lorsque sa prise de pression est à l'air libre, un manomètre mesure la pression atmosphérique. Alors rappelez-vous que par convention, *tous les manomètres sont étalonnés à 0 bar sous cette pression.*



En effet, rappelez-vous que la pression mesurée par un manomètre est appelée ***pression relative***. Elle est comparée *relativement* à la pression atmosphérique qui a pour valeur réelle 1,013 bar absolus (que nous arrondirons à la valeur pratique de 1 bar).

Pression absolue = pression relative + pression atmosphérique (1 bar).

Pour rappel, lorsque le manomètre indique 0 bar, la pression absolue (exprimée par rapport au vide absolu) est de 0 + 1 = 1 bar. Bien sûr, si le manomètre indiquait 4 bar (pression relative), la pression absolue serait de 4 + 1 = 5 bar.

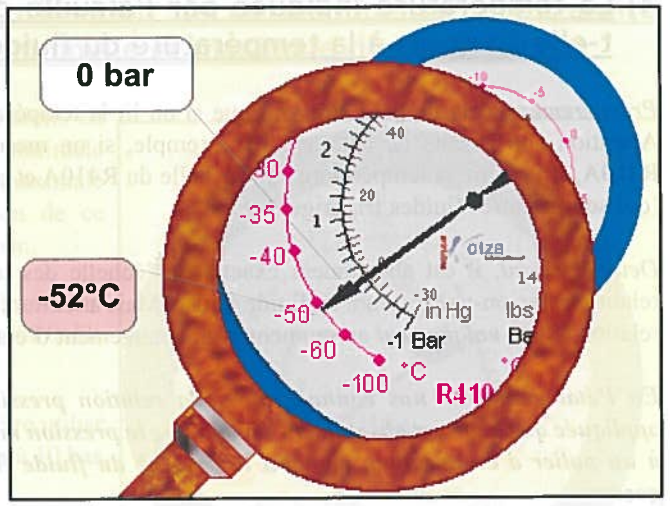
Tous les manomètres indiquent une pression relative mais certaines notices techniques (des fabricants de fluides frigorigènes par exemple) prennent en référence les pressions absolues. Alors, restez vigilants en consultant ce type de notices afin d'éviter les risques d'erreur. *En cas d'hésitation, relisez le chapitre correspondant page 42.*

2) Pour quelle raison l'aiguille indique-t-elle -52°C sur l'échelle de température quand le manomètre n'est pas raccordé ?

Nous venons de voir qu'un manomètre non raccordé (donc à l'air libre) mesure la pression atmosphérique. Or, celle-ci correspond à 1 bar absolu, soit 0 bar relatif.

L'aiguille du manomètre indique donc 0 bar...

Rappelez-vous qu'à la pression atmosphérique (soit 0 bar au mano), l'eau liquide s'évapore à +100 °C, l'éther liquide s'évapore à +35°C et *le R410A liquide à –52°C.*



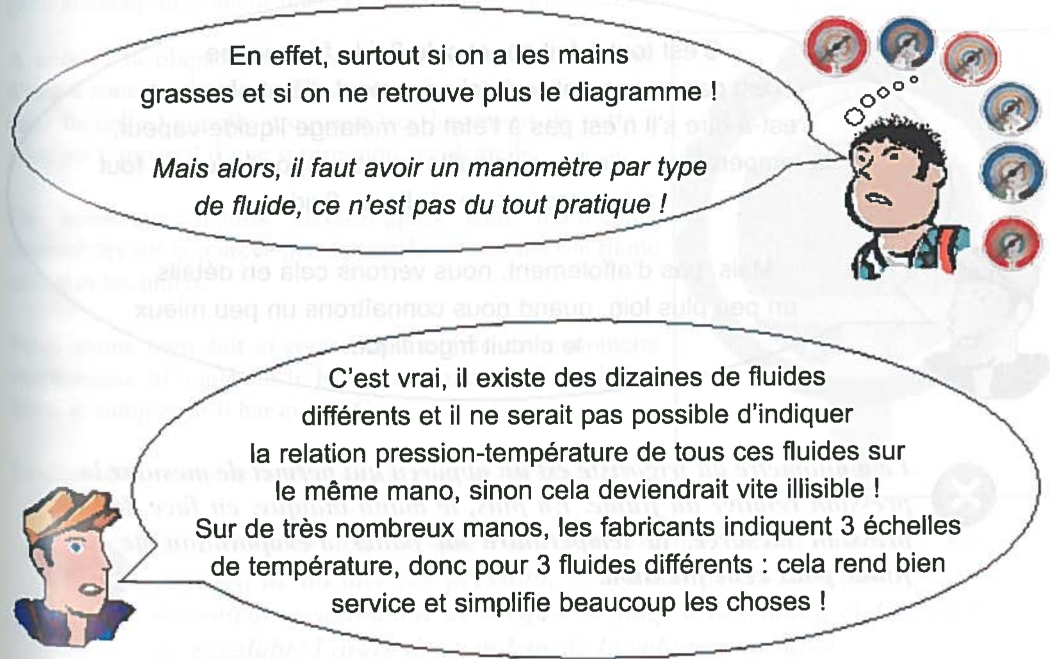
Notre manomètre est étalonné pour le R410A : l'échelle de température indique donc –52°C, qui correspond à la température d'évaporation du R410A à la pression mesurée par le manomètre (soit 0 bar relatif).

Si le manomètre avait été étalonné pour l'éther par exemple, en face de 0 bar, l'échelle de température aurait indiqué +35°C.

3) Pour quelle raison a-t-on mis une échelle de température sur ce manomètre de frigoriste ?

Nous avons déjà parlé du diagramme des relations pression-température du R410A (*page 53*). Sur le manomètre du frigoriste, le fabricant peut facilement rajouter en face de l'échelle des pressions une échelle de température permettant de lire cette relation pour un fluide donné.

Ainsi, à chaque fois que le frigoriste mesure une pression, il peut très facilement lire *en même temps* la température de changement d'état physique correspondante. Cela est quand même beaucoup plus pratique que de lire cette valeur sur un diagramme !



4) La température indiquée par l'aiguille du manomètre correspond-t-elle toujours à la température du fluide frigorigène ?

Premièrement, cela ne peut être vrai que si on lit la température du fluide sur la bonne échelle. Attention aux erreurs de lecture ! Par exemple, si on mesure une pression dans un circuit au R410A, il faut lire la température sur l'échelle du R410A et pas sur celle du R404A ou du R407C (qui sont d'autres fluides frigorigènes).

Deuxièmement, il est absolument exact que l'échelle des températures permet de connaître la relation pression-température du fluide utilisé. Mais attention, il ne faut pas perdre de vue que cette relation existe *uniquement* au moment d'un changement d'état physique.

En l'état actuel de nos connaissances, la relation pression-température ne peut donc être appliquée que si on est absolument certain que la pression mesurée par le mano correspond bien à un palier d'évaporation, pendant le passage du fluide frigorigène de l'état liquide à l'état gazeux.

En fait, la température indiquée par l'aiguille du manomètre correspond, *pour la pression mesurée*, à la température du fluide, **mais uniquement si ce fluide se trouve bien sur un palier d'évaporation.**



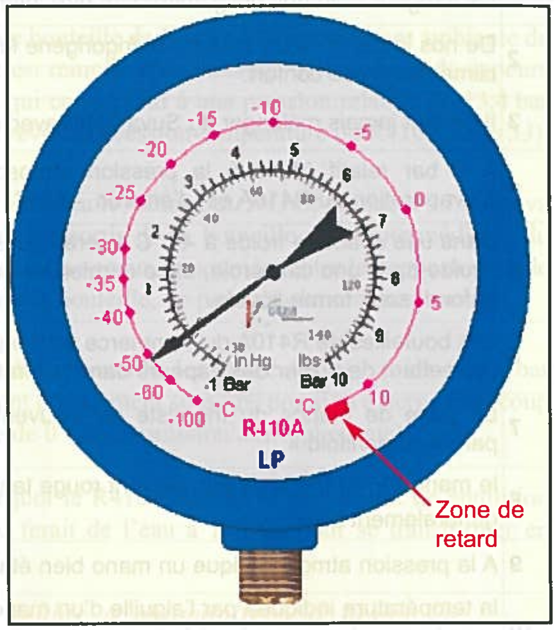
C'est tout à fait ça, et si le fluide frigorigène n'est pas sur un palier de changement d'état physique, c'est-à-dire s'il n'est pas à l'état de mélange liquide-vapeur, la température qu'indique l'aiguille ne correspond plus du tout à la température réelle du fluide.

Mais, pas d'affolement, nous verrons cela en détails un peu plus loin, quand nous connaîtrons un peu mieux le circuit frigorifique.



Le manomètre du frigoriste est un appareil qui permet de mesurer la pression relative du fluide. En plus, le mano indique, en face de la pression mesurée, la température du palier d'évaporation de ce fluide pour cette pression.

5) Quelle est la plage d'utilisation de ce manomètre, c'est-à-dire quelle est la pressions minimale et maximale d'utilisation ?



Si nous regardons l'échelle des pressions en bar, nous constatons que la pression minimale graduée est de -1 bar et la pression maximale est de 10 bar. La plage d'utilisation de ce manomètre est donc de –1 bar à 10 bar.

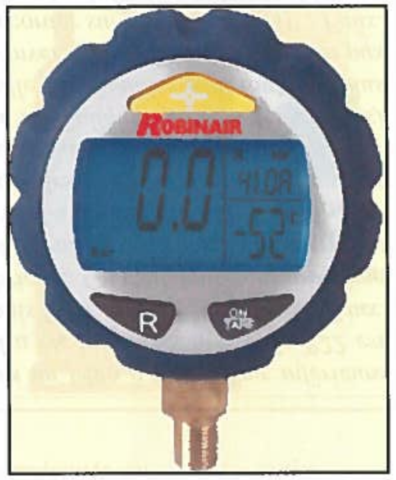
N'oubliez pas qu'une pression de –1 bar correspond au vide absolu : c'est la plus faible pression qui puisse exister.

Ce manomètre ne doit en aucun cas être utilisé pour mesurer une pression supérieure à 10 bar.

Rappelez-vous de « la paire de manos » du frigoriste, évoquée *page 54*. En fait, le frigoriste utilise 2 types de manomètres : l'un pour mesurer les **B**asses **P**ressions (le mano **BP**, comme celui représenté ci-contre) et l'autre pour mesurer les **H**autes **P**ressions (le mano **HP**, gradué pour des pressions pouvant dépasser 30 bar. Ces 2 manomètres sont quasiment identiques et seule leur plage d'utilisation est différente.

Si un manomètre est soumis à une pression située en dehors de sa plage d'utilisation, il risque fortement d'être endommagé et de faire ensuite des mesures de pression erronées : il ne faudra pas essayer de mesurer une HP avec un mano BP ! Alors, pour éviter les erreurs, les manos BP sont généralement de couleur bleue et les manos HP sont rouges.

A noter : la plupart des manos de frigoriste sont équipés d'une « zone de retard » en fin de plage (voir figure ci-dessus) dans laquelle l'aiguille progresse très lentement de sorte à protéger l'appareil d'une surpression accidentelle.



De nombreux manos électroniques sont maintenant disponibles sur le marché permettant de sélectionner le fluide utilisé et les unités.

Nous avons reproduit ci-contre un exemple de manomètre électronique BP réglé sur le R410A. Attendu qu'il est à l'air libre, il indique sûr 0 bar et -52°C.

Évidemment, le même modèle existe pour les mesures HP.

Afin d'éviter tous risques de détérioration, avant d'utiliser un appareil de mesure (de pression, de tension, d'intensité, etc.), il est fortement recommandé de vérifier sa plage d'utilisation et d'évaluer au préalable l'ordre de grandeur de la valeur à mesurer.

	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°4 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX	
1	Pour maintenir 4°C dans un réfrigérateur, la température de l'échangeur froid doit obligatoirement être inférieure à ces 4°C.			1
2	De nos jours, le R22 est le fluide frigorigène le plus utilisé en climatisation de confort.			2
3	Il ne faut jamais mélanger du Suva 410A avec du Forane 410A.			3
4	A 0 bar relatif (donc à la pression atmosphérique), la température d'évaporation du R410A est d'environ –52°C.			4
5	Dans une chambre froide à -60°C il serait possible de verser du R410A liquide dans une casserole, et ce dernier resterait bien sagement dans le fond, sous forme liquide.			5
6	Les bouteilles de R410A du commerce sont équipées d'un tube plongeur permettant de puiser des vapeurs dans le fond de la bouteille.			6
7	La paire de manos du frigoriste est souvent appelée « bipasse » ou parfois « manifold ».			7
8	le mano BP du frigoriste est souvent rouge tandis-que le mano HP est généralement bleu.			8
9	A la pression atmosphérique un mano bien étalonné doit indiquer 0 bar.			9
10	la température indiquée par l'aiguille d'un mano de frigoriste correspond, pour la pression mesurée, à la température du fluide.			10

CORRIGÉ DE L'EXERCICE — VRAI — FAUX

1 : Vrai. Il est impossible d'abaisser la température dans un frigo à une valeur inférieure à la température de l'échangeur froid. - 2 : Faux. S'il a été jadis très utilisé, le R22 est dorénavant interdit sur toutes les installations neuves depuis le 01 janvier 2004. - 3 : Faux. Le R410A est rigoureusement identique quel que soit le fabricant. On peut donc sans problème mélanger du R410A provenant de fabricants différents. - 4 : Vrai. Et à 23 bar, sa température d'évaporation augmente jusqu'à environ 40°C. - 5 : Vrai. La température du R410A étant alors de -60°C, les forces internes seraient plus faibles que les forces externes (la pression atmosphérique) et la surface du R410A liquide contenu dans la casserole resterait calme et plane. - 6 : Faux. S'il est exact qu'il y a un tube plongeur, c'est du liquide (et non des vapeurs) que ce tube permet d'aller puiser dans fond de la bouteille (les liquides sont toujours plus lourds que les vapeurs). - 7 : Vrai. - 8 : Faux. C'est l'inverse. - 9 : Vrai. Et il n'est pas inutile de vérifier à chaque fois ses manos avant de les raccorder sur un circuit. - 10 : Faux. Cela n'est exact que si le fluide frigorigène est sur un palier de changement d'état physique, c'est-à-dire s'il est à l'état de mélange liquide-vapeur. Sinon, la température qu'indique l'aiguille ne correspond absolument pas à la température réelle du fluide.

L'ÉVAPORATION DU R410A



Prenons une bouteille de R410A à la température ambiante de 20°C. Elle est remplie d'un mélange de liquide et de vapeurs à 20°C ce qui correspond à une pression relative de 13,4 bar (au besoin revoir la pression-température du R410A *page 53*).

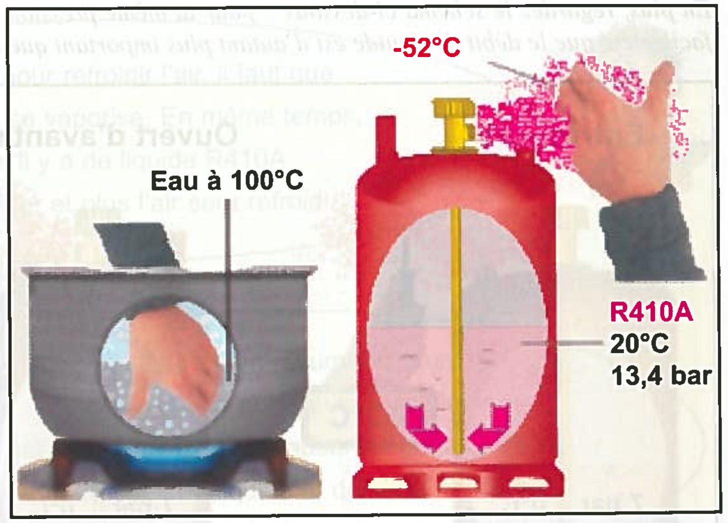
Si on ouvre un peu le robinet, *du R410A liquide à 13,4 bar* va immédiatement sortir de la bouteille par l'intermédiaire du tube plongeur (la vapeur, prisonnière entre la nappe de liquide et le haut de la bouteille, ne peut absolument pas sortir).

En sortant de la bouteille, les molécules de liquide à 13,4 bar se retrouvent brutalement sous une pression externe beaucoup plus faible de 0 bar (la pression atmosphérique).

C'est pourquoi le R410A liquide entre aussitôt en ébullition (comme le ferait de l'eau à 100°C) pour se transformer en vapeur.

Mais, pour se vaporiser, le liquide a obligatoirement besoin de chaleur. Il va donc prendre cette chaleur à tous les corps plus chauds qu'il va rencontrer.

En particulier, si nous plaçons un thermomètre à la sortie de la bouteille, il va indiquer -52°C, ce qui correspond précisément à la température du palier d'évaporation du R410A à la pression atmosphérique.



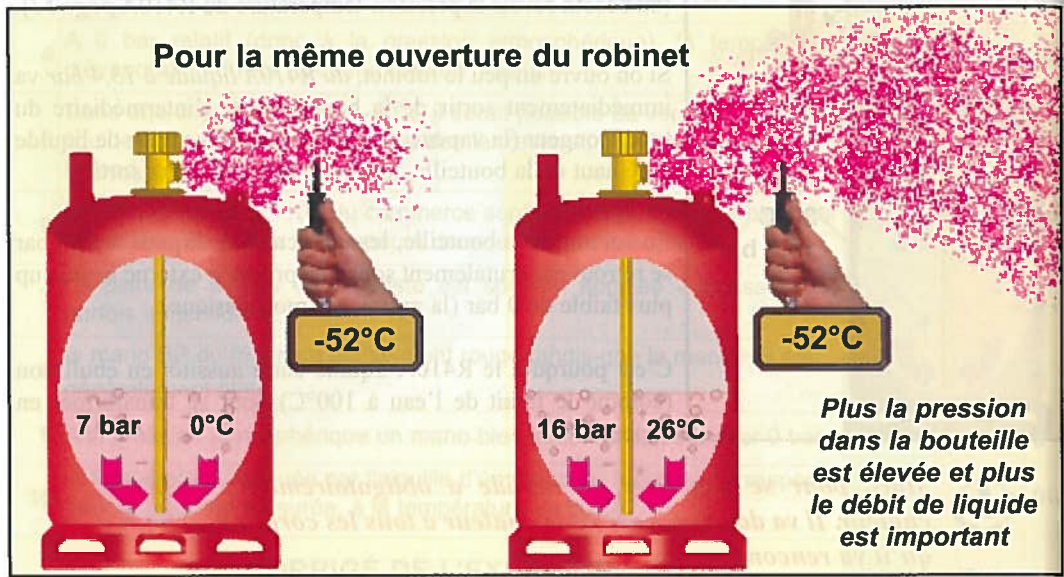
DANGER : si vous plongez votre main à 30°C dans de l'eau bouillante à 100°C, **cela représente une différence de température de 70°C et entraîne une très grave brûlure.**

Si vous touchez du R410A à -52°C, cela représente avec votre main une différence de température de 82°C et vous cause une brûlure aussi grave que la précédente !

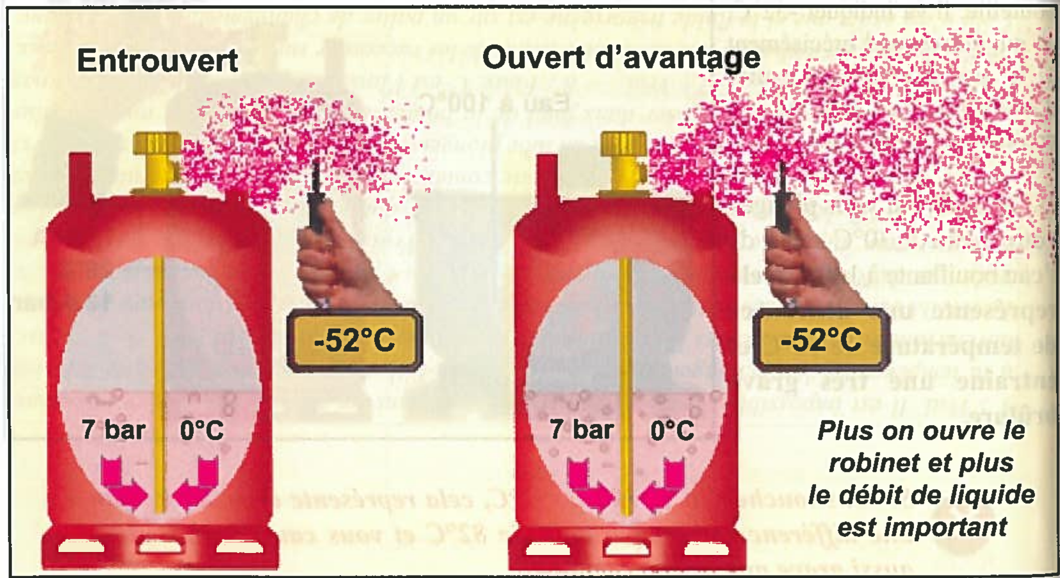
Bien sûr, si vous touchez ***l'extérieur*** *de la bouteille à 20°C, il n'y a aucun problème.*

Nous venons de voir que le R410A liquide à la pression atmosphérique se vaporise à –52°C en absorbant de la chaleur à tout ce qui l'entoure. Pour préciser encore le phénomène, imaginons que la température autour de la bouteille soit de 0°C. La relation pression-température du R410A nous indique que la pression à l'intérieur de la bouteille est alors de 7 bar. De même, si la température ambiante était de 26°C, le R410A dans la bouteille serait à 16 bar.

Regardez le schéma ci-dessous : pour la même ouverture du robinet de la bouteille, il est évident que le débit de liquide est d'autant plus important que la pression est élevée dans la bouteille



En plus, regardez le schéma ci-dessous : pour la même pression dans la bouteille, on comprend facilement que le débit de liquide est d'autant plus important que le robinet est ouvert.



En conclusion, le débit de liquide est d'autant plus important que la pression est élevée dans la bouteille et que le robinet est ouvert.



Mais, pour s'évaporer le R410A liquide qui sort de la bouteille a obligatoirement besoin de chaleur.

Dans notre exemple, le R410A absorbe à l'air ambiant la chaleur dont il a besoin pour se vaporiser.

Mais, puisque le R410A enlève de la chaleur à l'air, celui-ci devient obligatoirement plus froid, comme le montre le thermomètre qui descend à –52°C !

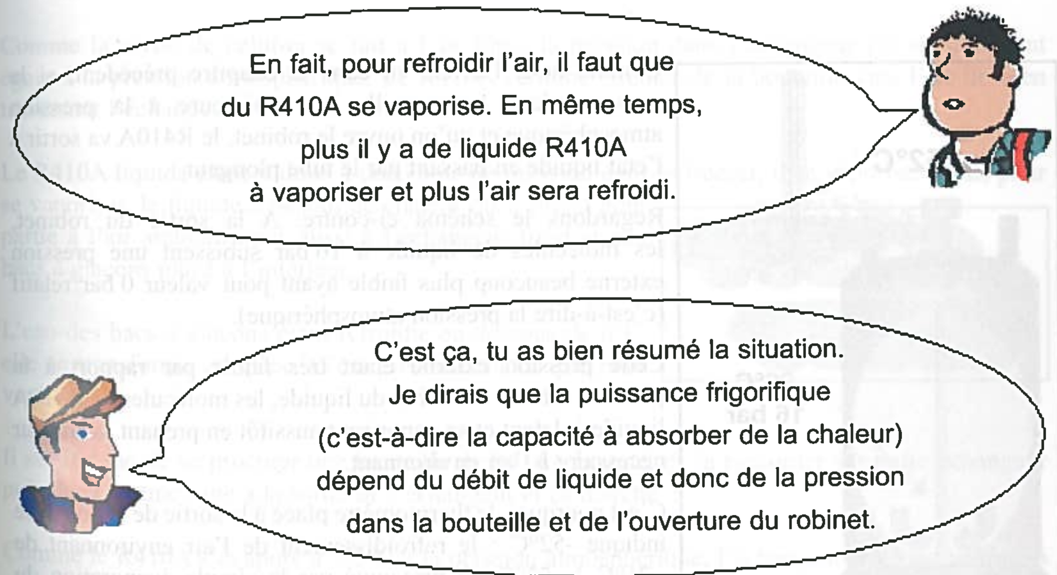
La vaporisation du R410A permet donc de refroidir l'air.

Mais, plus il y aura de liquide qui sortira de la bouteille, plus le R410A absorbera de la chaleur pour se vaporiser et plus le refroidissement de l'air ambiant sera important.

En résumé, le R410A contenu dans la bouteille a une capacité à absorber de la chaleur qui dépend :

1) De la différence de pression entre le R410A et la pression atmosphérique.

2) De l'ouverture du robinet de la bouteille.

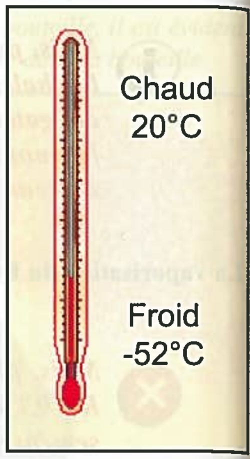


Nous venons de mettre en évidence un phénomène très important : la puissance frigorifique varie en fonction de la quantité de fluide frigorigène vaporisée. Plus la quantité de R410A qui se vaporisera est importante, plus la puissance frigorifique augmentera.

Dans le chapitre suivant, nous verrons comment améliorer le système…

QUE SE PASSE-T-IL DANS L'ÉCHANGEUR FROID (LE FREEZER) ?

Avant de répondre à cette question, rappelons-nous le chapitre précédent.

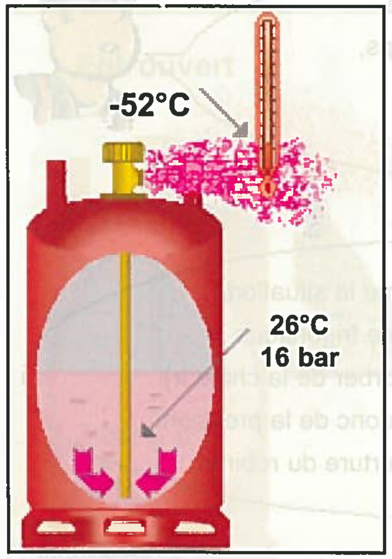


Nous avons vu qu'il existe un fluide frigorigène appelé le R410A qui se vaporise à -52°C à la pression atmosphérique en absorbant de la chaleur.

A ce moment, le R410A est donc capable d'absorber de la chaleur à tout corps dont la température est supérieure à ces -52°C.

C'est formidable, nous voulions précisément refroidir dans notre frigo des aliments dont la température est bien supérieure !





Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, si la pression dans la bouteille est supérieure à la pression atmosphérique et qu'on ouvre le robinet, le R410A va sortir à l'état liquide en passant par le tube plongeur.

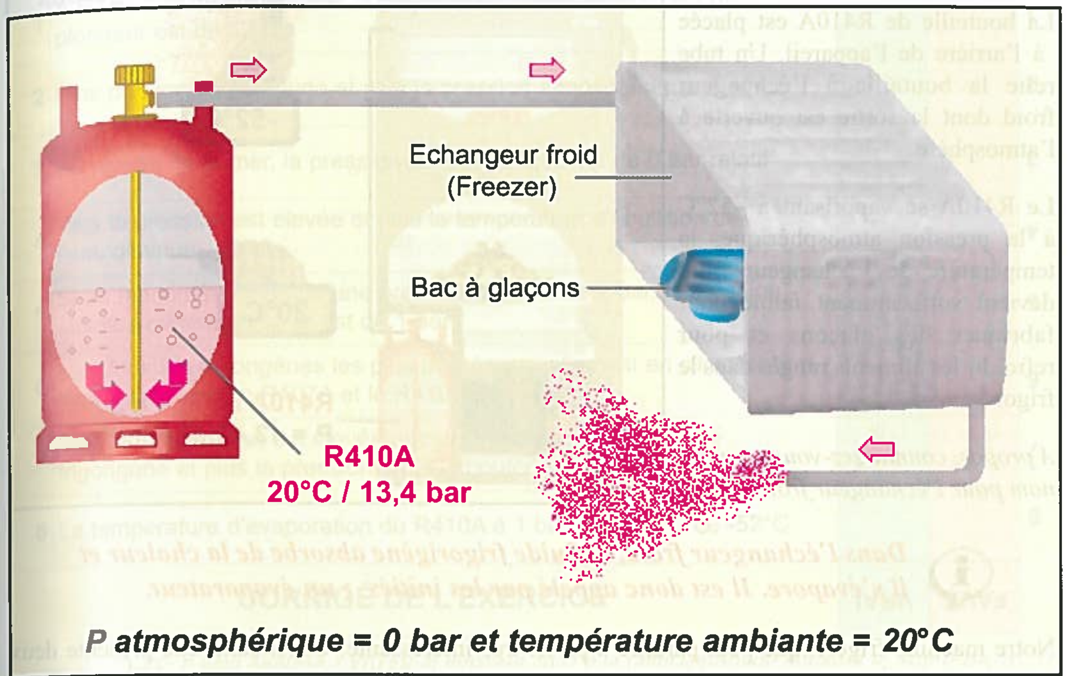
Regardons le schéma ci-contre. A la sortie du robinet, les molécules de liquide à 16 bar subissent une pression externe beaucoup plus faible ayant pour valeur 0 bar relatif (c'est-à-dire la pression atmosphérique).

Cette pression externe étant très faible par rapport à la pression interne de 16 bar du liquide, les molécules de R410A liquide éclatent et se vaporisent aussitôt en prenant la chaleur nécessaire à l'air environnant.

C'est pourquoi, le thermomètre placé à la sortie de la bouteille indique -52°C : le refroidissement de l'air environnant de +26°C à -52°C est provoqué par la simple évaporation du R410A.

De plus, nous savons maintenant que la puissance frigorifique (c'est-à-dire la capacité à absorber de la chaleur) dépend du débit de R410A liquide.

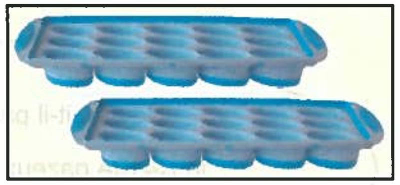
Pour permettre un meilleur échange thermique, le système peut être amélioré en faisant passer le liquide à travers un échangeur, comme ci-dessous :



En entrouvrant plus ou moins la vanne de la bouteille, nous allons pouvoir régler le débit de fluide traversant l'échangeur (le freezer).

Comme la sortie de celui-ci se fait à l'air libre, la pression dans l'échangeur est sensiblement égale à la pression atmosphérique. Le R410A va donc circuler de la bouteille vers l'air libre en traversant l'échangeur.

Le R410A liquide étant soumis à une chute de pression dans le freezer, il se vaporise. Mais, pour se vaporiser, le liquide a besoin de chaleur qu'il prend pour partie à l'air ambiant mais aussi à l'échangeur froid et aux bacs à glaçons placé à l'intérieur.



L'eau des bacs à glaçons étant refroidie en dessous de 0°C, elle se transforme en glace. C'est précisément ce que nous voulions !

Il suffit donc de se procurer une bouteille de R410A liquide, de la raccorder sur notre échangeur puis de créer une fuite à la sortie de l'échangeur et ça marche !

Comme le R410A s'évapore à -52°C à la pression atmosphérique, l'échangeur froid est refroidi à une température très proche de -52°C.

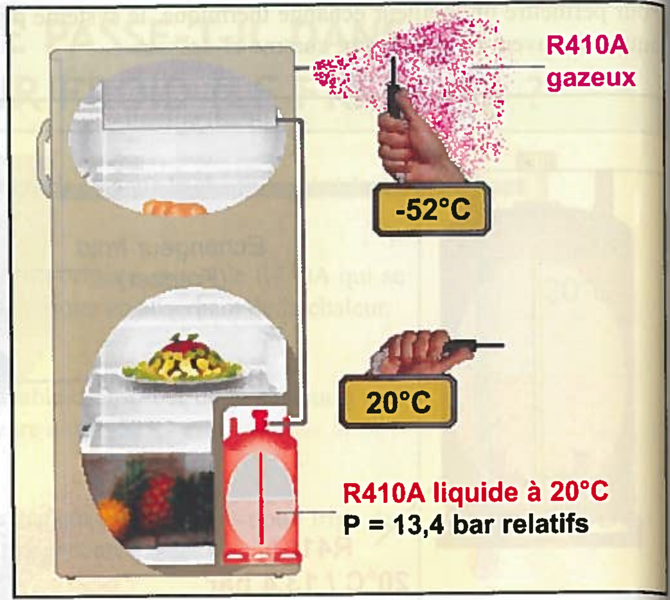
A présent, nous pouvons donc imaginer un montage un peu plus perfectionné pour refroidir les aliments dans notre frigo…

Nous pouvons donc réaliser notre premier frigo.

La bouteille de R410A est placée à l'arrière de l'appareil. Un tube relie la bouteille à l'échangeur froid dont la sortie est ouverte à l'atmosphère.

Le R410A se vaporisant à –52°C à la pression atmosphérique, la température de l'échangeur froid devient suffisamment faible pour fabriquer des glaçons et pour refroidir les aliments rangés dans le frigo.

A propos, connaissez-vous un autre nom pour l'échangeur froid ?

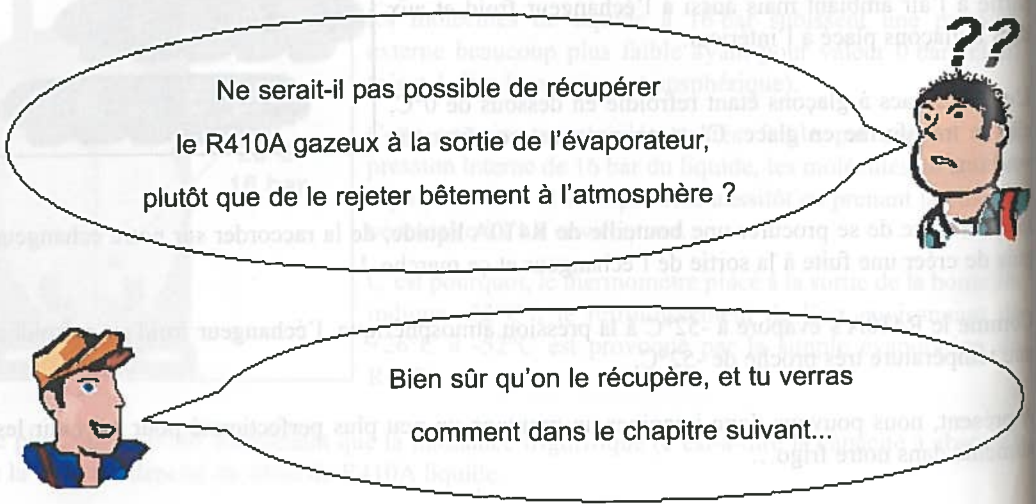


Dans l'échangeur froid, le fluide frigorigène absorbe de la chaleur et il s'évapore. Il est donc appelé par les initiés : un évaporateur.

Notre machine frigorifique peut paraître à priori très intéressante. Cependant, elle présente deux énormes inconvénients :

- Le fluide frigorigène s'échappe en permanence dans l'atmosphère. La bouteille de R410A se vide donc rapidement et il sera nécessaire de la remplacer très souvent : ce n'est guère pratique, d'autant plus que le R410A coûte très cher !
- En libérant le R410A à l'atmosphère, nous violons la réglementation et nous créons une pollution très préjudiciable à l'environnement : c'est inacceptable !

Un tel système ne peut donc pas convenir : *achèteriez-vous un frigo très polleur dont il faudrait « faire le plein » de fluide frigorigène quasiment tous les jours pour un prix très élevé ?*



	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°5 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX	
1	A 50 mètres de profondeur, la pression exercée par l'eau sur un plongeur est de 50 bar			1
2	Plus on monte en altitude et plus la pression atmosphérique diminue			2
3	Au niveau de la mer, la pression atmosphérique est de 0 bar relatif			3
4	Plus la pression est élevée et plus la température d'ébullition de l'eau diminue			4
5	Si un manomètre indique une pression relative de 2 bar, la pression absolue correspondante est de 1 bar			5
6	Les 2 fluides frigorigènes les plus utilisés actuellement en climatisation individuelle sont le R407A et le R410C			6
7	Plus la température est élevée autour d'une bouteille de fluide frigorigène et plus la pression dans la bouteille est importante			7
8	La température d'évaporation du R410A à 1 bar absolu est de -52°C			8

CORRIGÉ DE L'EXERCICE — VRAI — FAUX

1 : Faux. A 50m de profondeur la pression est de 5 bar - 2 : Vrai. Elle n'est plus que de 0,7 bar à 3000 m et de 0,4 bar à 7000 m - 3 : Vrai. - 4 : Faux. C'est l'inverse - 5 : Faux. Tous les manomètres indiquent bien une pression relative mais il faut ajouter la pression atmosphérique pour obtenir la pression absolue correspondante. Puisque le manomètre indique 2 bar, la pression absolue correspondante est de 2 + 1 = 3 bar - 6 : Faux. Il s'agit du R407C (et non du R407A) et du R410A (et non du R410C) - 7 : Vrai. Par exemple, le R410A est à une pression de 13,4 bar à 20°C mais de 23 bar à 40°C - 8 : Vrai. 1 bar absolu = 0 bar relatif (c'est-à-dire la pression atmosphérique) et à cette pression le R410A s'évapore bien à -52°C

Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

LE PHÉNOMENE DE CONDENSATION

Nous avons vu que pour vaporiser du R410A, c'est-à-dire pour le faire passer de l'état liquide à l'état gazeux, il suffit de lui apporter de la chaleur. Pourquoi ne pourrions-nous pas faire l'inverse, c'est-à-dire transformer du gaz en liquide ?

L'inverse est en effet possible et ce phénomène s'appelle la condensation. Avant de l'étudier, rappelons-nous que l'air qui nous environne contient de la vapeur d'eau. Cette vapeur d'eau provient de l'évaporation des mers, des lacs, etc., mais également de notre respiration.

En effet, l'air que nous inspirons s'humidifie fortement pendant son passage dans notre système respiratoire.



Du reste, mettez une paire de lunettes (ou un miroir) devant votre bouche et expirez fortement.

D'où vient la buée qui apparaît alors sur le verre des lunettes ?

Notez qu'on ne voit ni l'air qui nous environne, ni la vapeur d'eau. Il s'agit de deux gaz invisibles à l'œil nu.

Pourtant, nous pouvons facilement mettre en évidence la présence de vapeur d'eau dans l'air, simplement en soufflant sur une paire de lunettes.



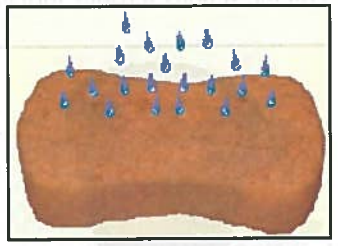
En effet, la vapeur d'eau que nous expirons devient visible lorsque la température de l'air environnant est suffisamment froide.

De la même manière, la buée sur le pare-brise de la voiture ou sur les vitres de la cuisine en hiver, la rosée du matin, etc., sont des phénomènes qui obéissent tous aux lois de la condensation.

Ce phénomène de buée (de condensation), se produit au moment où la vapeur d'eau rencontre une paroi froide.

Dans la salle de bain par exemple, pendant le bain ou la douche, vous utilisez de l'eau chaude. La vapeur d'eau qui se dégage humidifie très fortement l'air ambiant...

Quand les molécules de vapeur d'eau plutôt chaudes viennent en contact avec la vitre ou le miroir qui sont plus froids, elles se refroidissent et de la buée apparaît aussitôt.



En fait, l'air peut contenir plus ou moins de vapeur d'eau. Il se comporte un peu comme une éponge dont la capacité d'absorption varie selon la façon dont vous la serrez.

En faisant couler un peu d'eau sur une éponge, celle-ci est capable de l'absorber.



Ensuite, si vous serrez l'éponge, elle restitue l'eau car le « serrage » diminue sa capacité d'absorption.

L'air réagit un peu de la même manière que l'éponge, à part que sa capacité d'absorption en vapeur d'eau ne dépend pas d'un quelconque serrage, mais de la température : ***plus l'air est chaud et plus il est capable de contenir de la vapeur d'eau ; plus il est froid, moins il peut en contenir.***

A propos, au moment où de l'air chargé de vapeur d'eau rencontre une paroi suffisamment froide (vitre, pare-brise ou autre), pourquoi de la buée apparaît-elle sur cette paroi ?





Et vous, vous avez une petite idée ?

On peut dire que l'air et la vapeur d'eau qu'il contient se refroidissent au contact de la paroi froide.

Mais, *plus l'air est froid et moins il peut contenir de vapeur d'eau* : si on le refroidi suffisamment, l'air devient donc incapable de retenir l'eau...

Pour éviter des explications trop scientifiques, disons que lorsque la température de l'air diminue suffisamment, tout se passe comme si nous serrions fortement une éponge humide.



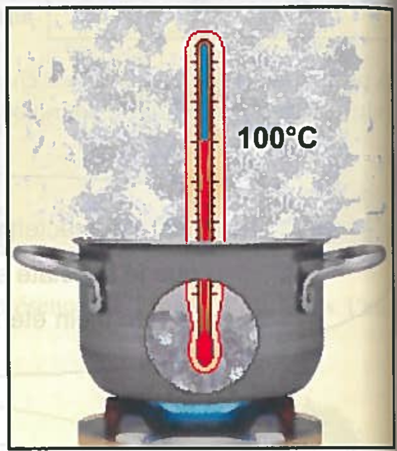


La vapeur d'eau contenue dans l'air va donc se condenser et se retrouver sur la paroi du verre sous la forme de buée, ce qui n'est rien d'autre qu'une fine pellicule d'eau à l'état liquide.

Du reste, la nappe en papier sous le verre d'eau fraîche le confirme, puisqu'elle est toute mouillée alors que le verre ne fuit pas !

Ainsi, la vapeur d'eau (qui est un gaz) se transforme en buée (qui est de l'eau liquide) par simple refroidissement. Nous sommes donc bien en présence d'un changement d'état physique : la transformation de l'état gazeux à l'état liquide.

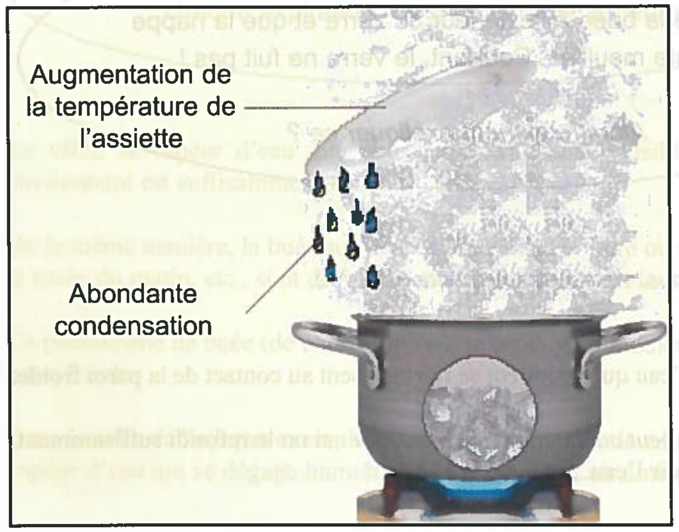
Pour préciser encore ce phénomène, je vous propose de réaliser une expérience. Prenez une casserole pleine d'eau et portez-la à ébullition. Nous savons qu'à partir de 100°C la température reste constante : l'eau se vaporise en passant de l'état liquide à l'état vapeur.



Maintenant, si vous placez une assiette à une dizaine de centimètres au dessus de la casserole on constate que de la vapeur d'eau se condense abondamment sur l'assiette.

De plus, la température de l'assiette augmente fortement (faites attention à ne pas vous brûler).

Comment expliquer ce phénomène ?

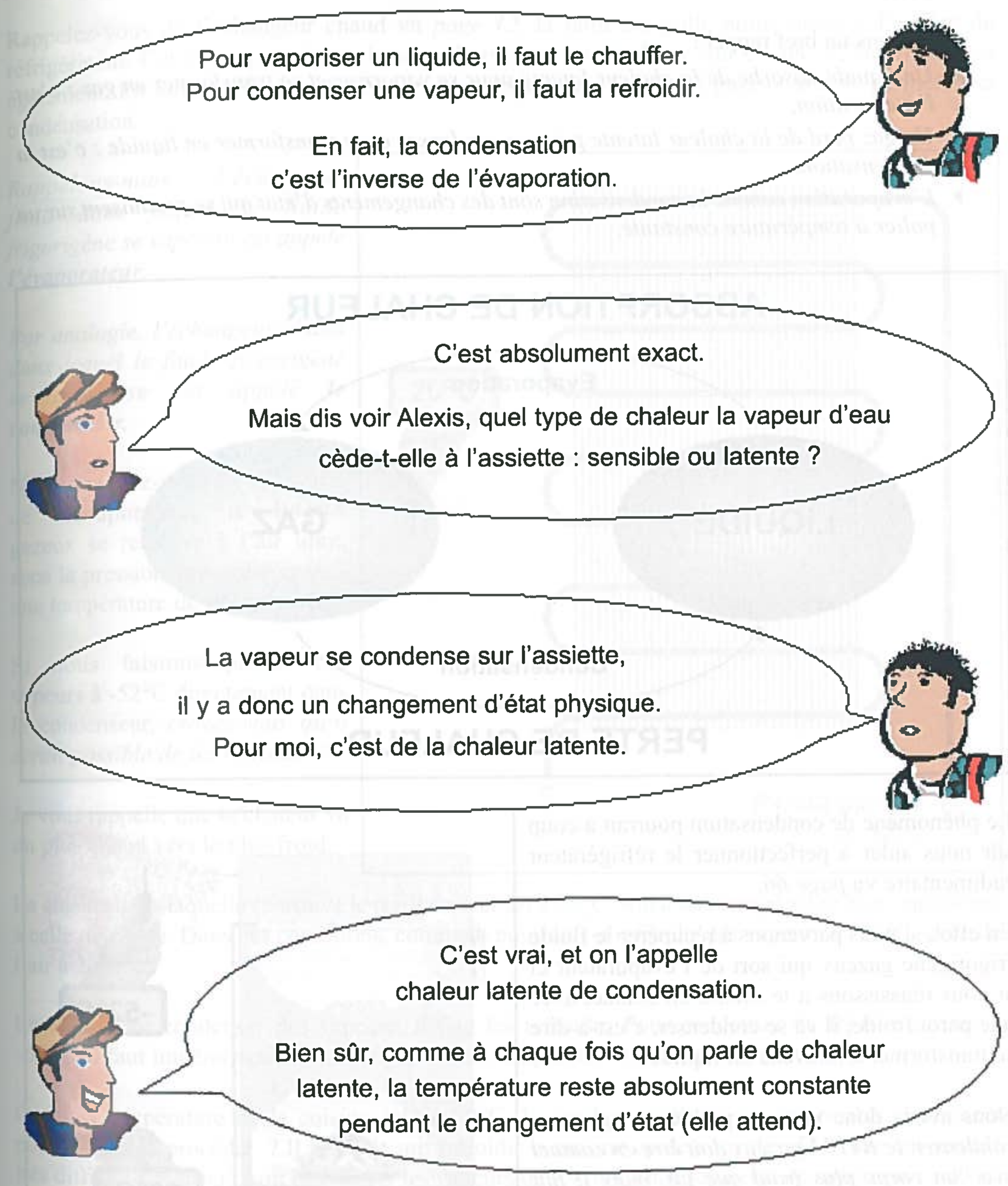


Etant donné que l'assiette n'est en contact ni avec la casserole, ni avec la flamme, c'est bien la vapeur d'eau qui cède de la chaleur à l'assiette en se condensant.

Bien que très simple, cette petite expérience est très importante.

Elle nous permet de mettre en évidence que lorsque de la vapeur d'eau est en contact avec une paroi froide, non seulement la vapeur se condense, mais en plus la paroi froide se réchauffe.

Le passage de l'état vapeur à l'état liquide s'appelle la condensation.



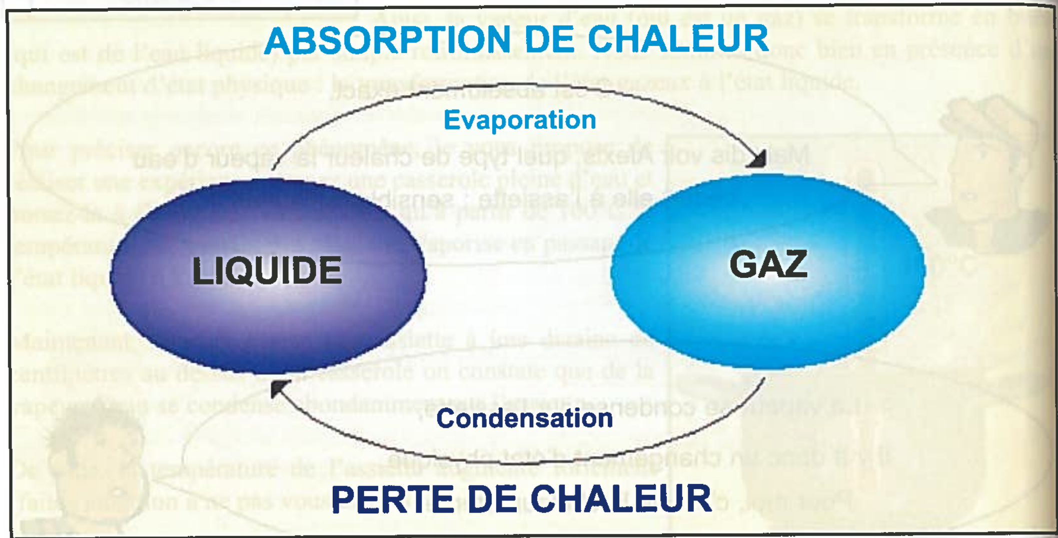
Lorsque des vapeurs se condensent, elles restituent de la chaleur à température constante. La chaleur restituée s'appelle la chaleur de condensation.

Il est intéressant de savoir que la quantité de chaleur restituée pendant la condensation de 1kg de vapeur d'eau **est exactement la même** que celle nécessaire à la vaporisation de 1kg d'eau.

Le phénomène de condensation est donc très exactement l'inverse du phénomène d'évaporation.

Faisons un bref rappel :

- *Un liquide absorbe de la chaleur latente pour se vaporiser et se transformer en gaz : c'est l'évaporation.*
- *Un gaz perd de la chaleur latente pour se condenser et se transformer en liquide : c'est la condensation.*
- *L'évaporation comme la condensation sont des changements d'état qui se produisent sur un palier à température constante.*



Le phénomène de condensation pourrait à coup sûr nous aider à perfectionner le réfrigérateur rudimentaire vu *page 66*.

En effet, si nous parvenons à récupérer le fluide frigorigène gazeux qui sort de l'évaporateur et si nous réussissons à le mettre en contact avec une paroi froide, il va se condenser, c'est-à-dire se transformer à nouveau en liquide.

Nous avons donc un gros problème : *pour se condenser, le R410A gazeux doit être en contact avec un corps plus froid que lui, mais il fait 20°C dans la cuisine et à la sortie de l'évaporateur le R410A gazeux est à –52°C.*

Il semble donc impossible de condenser les vapeurs de R410A si on ne les réchauffe pas auparavant...

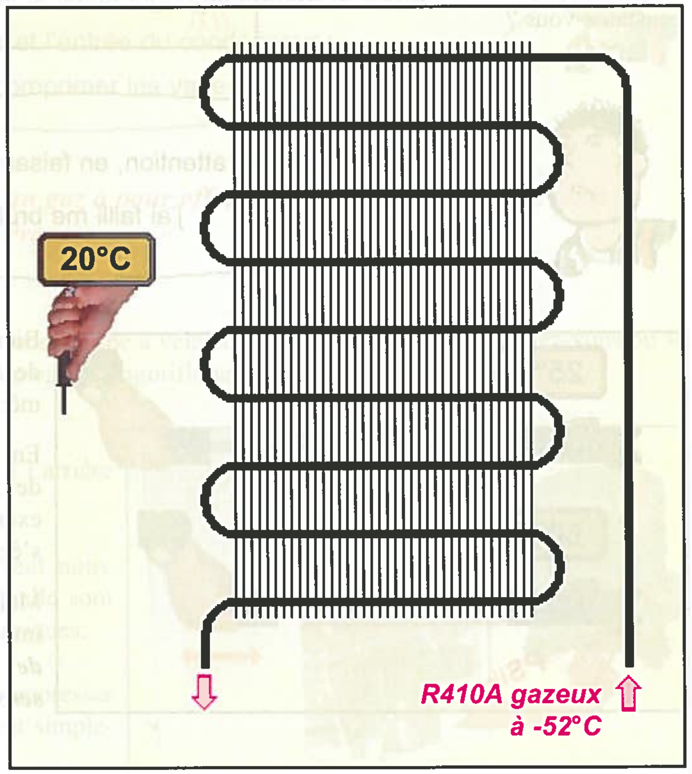


LE RÔLE DU COMPRESSEUR

Rappelez-vous de l'échangeur chaud vu *page 12*, la fameuse grille noire située à l'arrière du réfrigérateur. Cet échangeur étant chaud, cela prouve que le fluide qui circule à l'intérieur l'est également. En fait, le rôle de cet échangeur est de refroidir le R410A gazeux afin de permettre sa condensation.

*Rappelons-nous : l'échangeur froid dans lequel le fluide frigorigène se vaporise est appelé **l'évaporateur**.*

*Par analogie, l'échangeur chaud dans lequel le fluide frigorigène se condense est appelé **le condenseur.***



Mais, rappelez-vous qu'à la sortie de l'évaporateur, le R410A gazeux se retrouve à l'air libre, sous la pression atmosphérique, à une température de -52°C.

Si nous faisions passer ces vapeurs à -52°C directement dans le condenseur, *croyez-vous qu'il serait possible de les refroidir ?*

Je vous rappelle que la chaleur va du plus chaud vers le plus froid.

La cuisine dans laquelle se trouve le réfrigérateur est à 20°C, soit à une température bien supérieure à celle du fluide. Dans ces conditions, comment pourrait-on refroidir des vapeurs à –52°C avec de l'air à 20°C ?

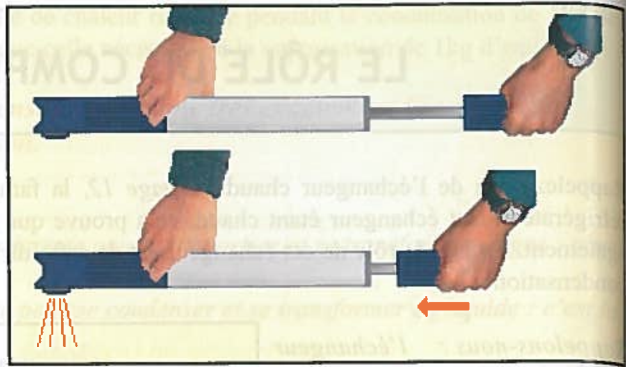
En effet, pour condenser des vapeurs, il faut les refroidir. Pour condenser du R410A gazeux à –52°C, il faut impérativement le refroidir à une température inférieure à –52°C.

Or, si la température de la cuisine est de 20°C, la condensation s'avère impossible. Comment pourrions nous procéder ? Il faudrait soit refroidir la cuisine en dessous de –52°C (ce qui semble très difficile à réaliser), soit réchauffer les vapeurs de R410A à une température supérieure à 20°C.

Nous sommes confrontés à un nouveau problème. Il faut réchauffer les vapeurs de R410A qui sortent de l'évaporateur à -52°C avant de les envoyer dans le condenseur.

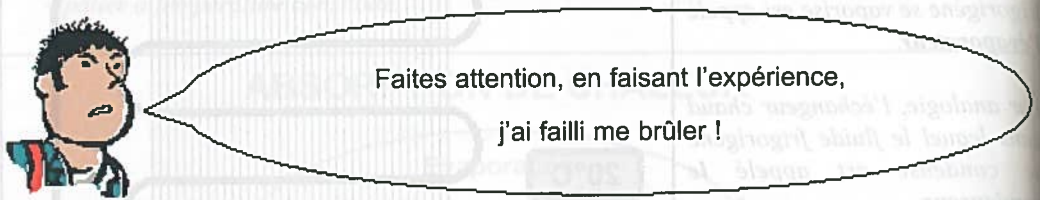
Comment procéder pour réchauffer ces vapeurs ? Auriez-vous une idée ?

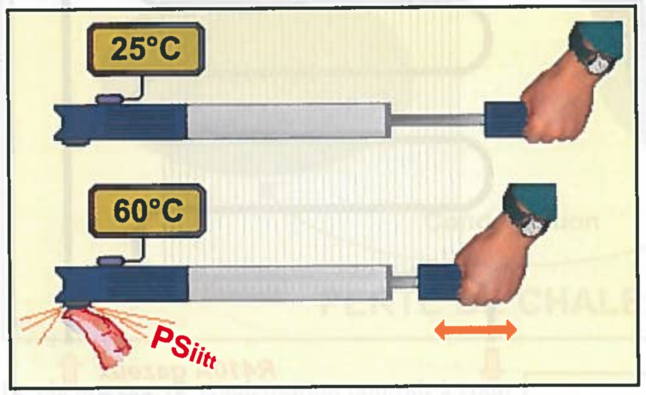
Avant de répondre à la question, et afin de vous mettre sur la voie, je vous propose une nouvelle expérience.



Prenez une pompe à vélo classique. Dans un premier temps, pompez sans obstruer la sortie.

Ensuite, pompez en obstruant la sortie de l'air avec votre pouce : que constatez-vous ?





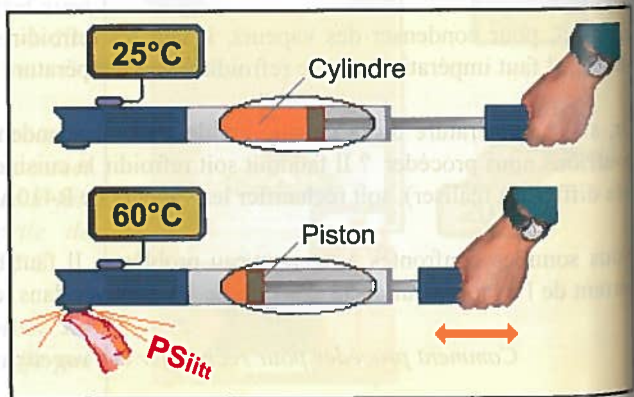
Bien que le pouce obstrue l'extrémité de la pompe, de l'air arrive quand même à sortir.

En fait, dès que la pression de l'air devient supérieure à la pression exercée par le pouce, de l'air peut s'échapper.

Mais, il y a une autre constatation très importante à faire : ***la température de l'air refoulé augmente très sensiblement !***

Afin de mieux comprendre ce qui se passe, regardons l'intérieur de cette pompe à vélo.

A l'intérieur de la pompe, il y a un piston qui coulisse dans un cylindre.



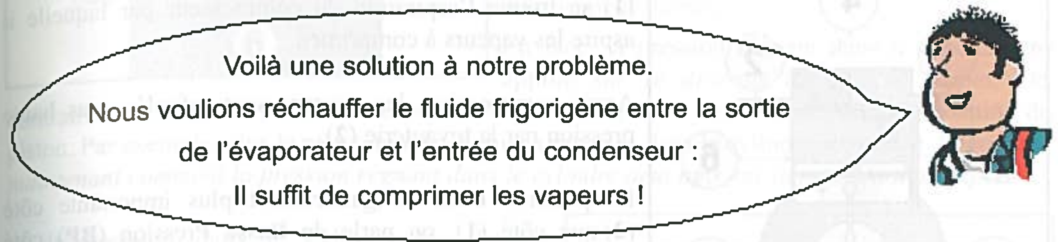
Quand l'embout de la pompe est partiellement obstrué, la pression dans le cylindre augmente ainsi que la température.

Lorsque la pression dans le cylindre devient trop importante, de l'air peut s'échapper.

Cette expérience très simple nous démontre que lorsqu'on comprime un gaz, il s'échauffe…

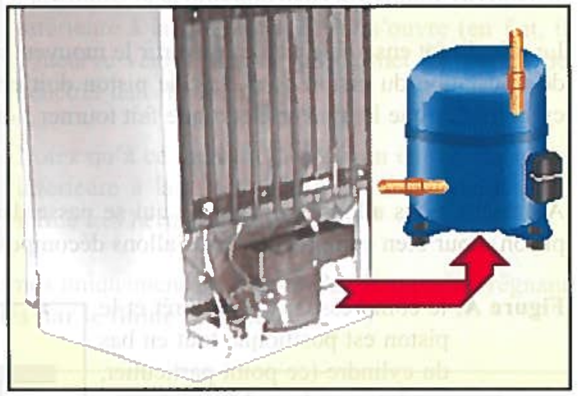
Or, notre problème est précisément de réchauffer les vapeurs de R410A qui sortent de l'évaporateur à –52°C jusqu'à une température supérieure à la température ambiante de la cuisine.

De cette façon, les vapeurs de fluide frigorigène pourront être suffisamment chaudes pour que l'air de la cuisine puisse les refroidir et donc les condenser.



La compression d'un gaz a pour effet d'augmenter sa pression, mais également sa température.

Bien sûr nous n'allons pas utiliser une pompe à vélo sur notre frigo ! A propos, savez-vous où se trouve la « pompe » utilisée dans un circuit frigorifique et quel est son nom exact ?



La « pompe » à fluide est située à l'arrière du frigo, juste sous le condenseur.

C'est une espèce de cloche souvent noire complètement hermétique sur laquelle sont raccordés des tubes et des fils électriques.

Cette « pompe » permettant de compresser le fluide frigorigène est appelé tout simplement le **compresseur**.

L'appareil qui permet de comprimer le fluide frigorigène s'appelle le compresseur.

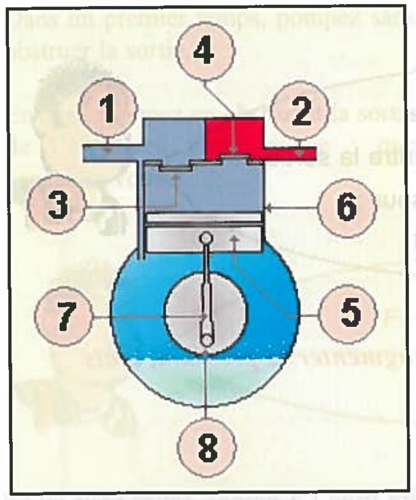
Comme une pompe à vélo, un compresseur classique est équipé de pistons et de cylindres.

Bien sûr, le compresseur n'est pas entraîné manuellement, mais par un moteur électrique.

A ce détail près, le principe de fonctionnement d'un tel compresseur est tout à fait identique à celui d'une pompe à vélo : *un compresseur à pistons ressemble effectivement beaucoup à une pompe à vélo motorisée !*

A l'identique d'une pompe à vélo, tous les compresseurs ont pour rôle d'aspirer des vapeurs, de les comprimer puis de les refouler à une pression et à une température plus élevée.

A présent, examinons ci-dessous le schéma de principe d'un compresseur à pistons.



Il est équipé de 2 raccordements au circuit frigorifique. En (1) se trouve l'aspiration du compresseur par laquelle il aspire les vapeurs à comprimer.

Après compression, les vapeurs sont refoulés sous haute pression par la tuyauterie (2).

La pression étant obligatoirement plus importante côté (2) que côté (1), on parle de **B**asse **P**ression (**BP**) côté aspiration et de **H**aute **P**ression (**HP**) côté refoulement.

En (3) se trouve le clapet d'aspiration (appelé aussi *clapet BP*) et en (4) le clapet de refoulement (*clapet HP*). Ces clapets sont en fait des lamelles flexibles en acier mince et nous verrons très bientôt comment ils fonctionnent.

En (5) vous reconnaissez le piston qui coulisse dans le cylindre (6). Le piston est raccordé par l'intermédiaire d'une bielle (7) sur un excentrique (8).

Le rôle de cet ensemble est de convertir le mouvement de rotation de l'excentrique en mouvement de translation du piston : en clair, le piston doit en permanence monter puis descendre dans le cylindre dès que le moteur électrique fait tourner l'excentrique.

A présent, nous allons examiner ce qui se passe dans le compresseur pour un aller et retour du piston. Pour bien comprendre, nous allons décomposer le mouvement.

Figure A, le compresseur est à l'arrêt et le piston est positionné tout en bas du cylindre (ce point particulier, en dessous duquel le piston ne peut pas descendre, s'appelle *le point mort bas*). Le cylindre (6) est alors rempli de vapeurs de R410A à basse pression BP.

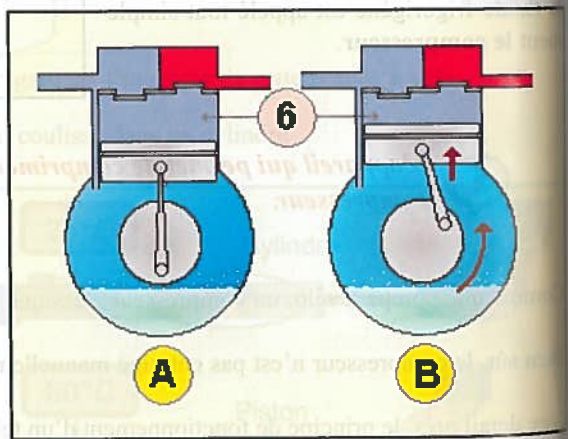
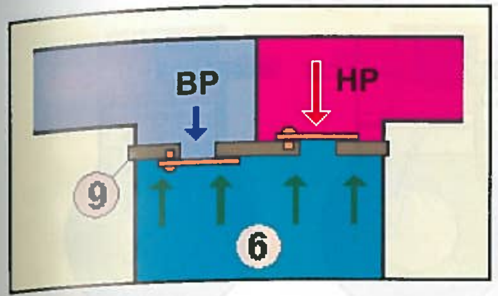


Figure B, le compresseur vient tout juste de démarrer. L'excentrique a commencé sa rotation en entraînant la bielle, ce qui fait monter progressivement le piston. Puisque le piston monte, la pression dans le cylindre (6) commence à augmenter.

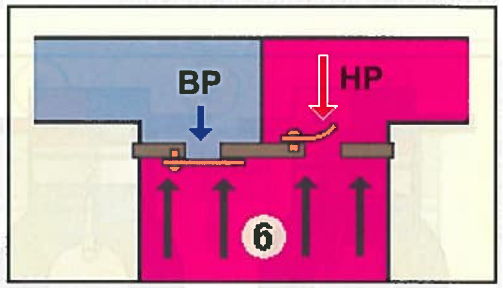
Mais regardons comment fonctionnent les clapets...



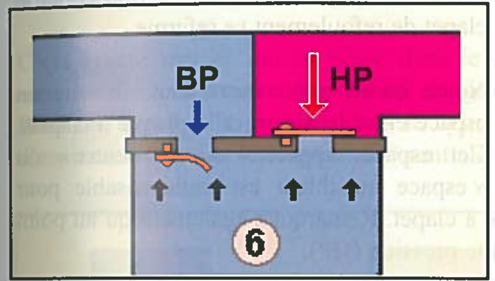
Les clapets, constituées de fines lamelles en acier flexible, sont fixés sur une plaque (9) positionnée en haut du cylindre (cette plaque s'appelle la plaque à clapets). Remarquez que la BP et la HP appuient en permanence *sur le dessus* de leur clapet respectif. Nous verrons que ces 2 pressions sont relativement stables.

En face, la pression régnant dans le cylindre (6) appuie *sur le dessous de chaque clapet*. Or, contrairement à la BP et à la HP, cette pression en (6) varie en permanence, selon la position du piston. Par exemple, plus le piston monte et plus la pression dans le cylindre augmente. *Regardons maintenant comment la pression régnant dans le cylindre peut agir sur la position des clapets.*

Si la pression dans le cylindre (6) devient supérieure à la HP, le clapet HP s'ouvre (en fait, il s'incurve vers le haut ce qui permet au R410A de sortir du cylindre pour partir dans la tuyauterie HP).



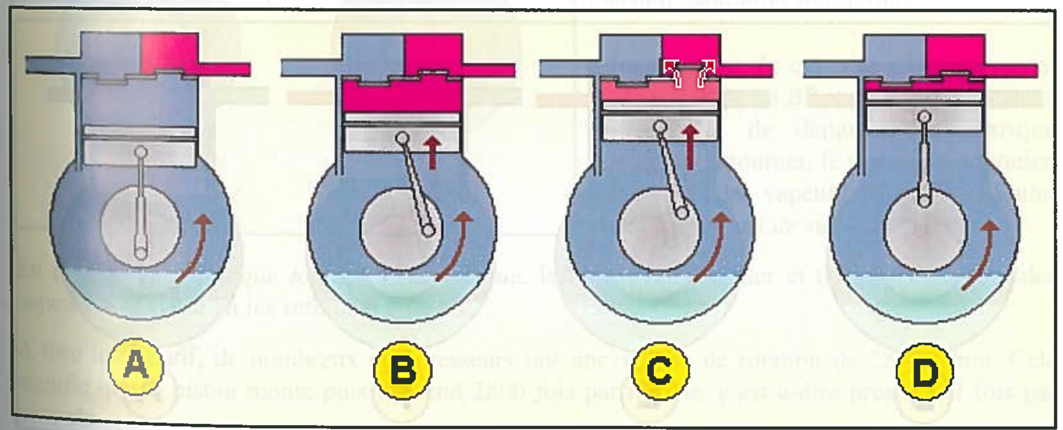
Notez que la pression en **6** étant très supérieure à la BP, le clapet d'aspiration reste fermé très hermétiquement.



Par contre, si la pression dans le cylindre (6) devient inférieure à la BP, le clapet BP s'ouvre (en fait, il s'incurve vers le bas ce qui permet au R410A de pénétrer dans le cylindre).

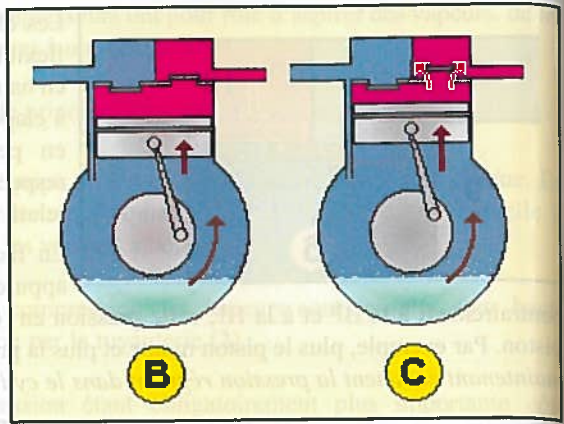
Notez qu'à ce moment la pression en (6) étant très inférieure à la HP, le clapet de refoulement reste fermé très hermétiquement.

Ainsi, les clapets peuvent être ouverts ou fermés uniquement en fonction de la pression régnant dans le cylindre : **les clapets sont commandés par le fluide lui-même.**

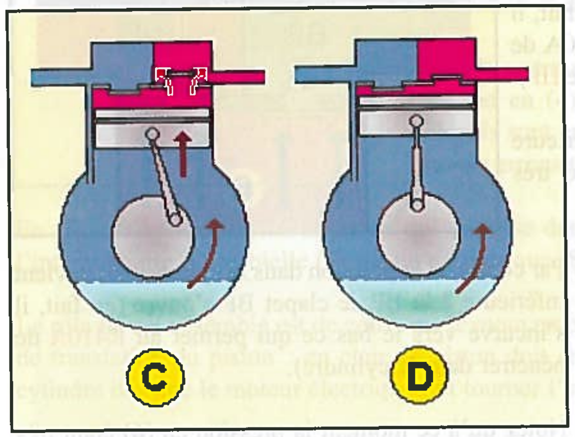


Avant de continuer, essayez de comprendre le schéma ci-dessus montrant différentes positions du piston pendant sa montée dans le cylindre.

De **B** à **C**, l'excentrique continue de tourner et le piston monte de plus en plus en comprimant les vapeurs de fluide frigorigène. La pression et la température des gaz dans le cylindre augmentent donc au fur et à mesure de la montée du piston.



En **C**, quand la pression dans le cylindre devient légèrement supérieure à la HP, le clapet de refoulement s'ouvre et les gaz comprimés sont expulsés dans la canalisation **HP**. Notez que le clapet BP est resté en permanence hermétiquement fermé.

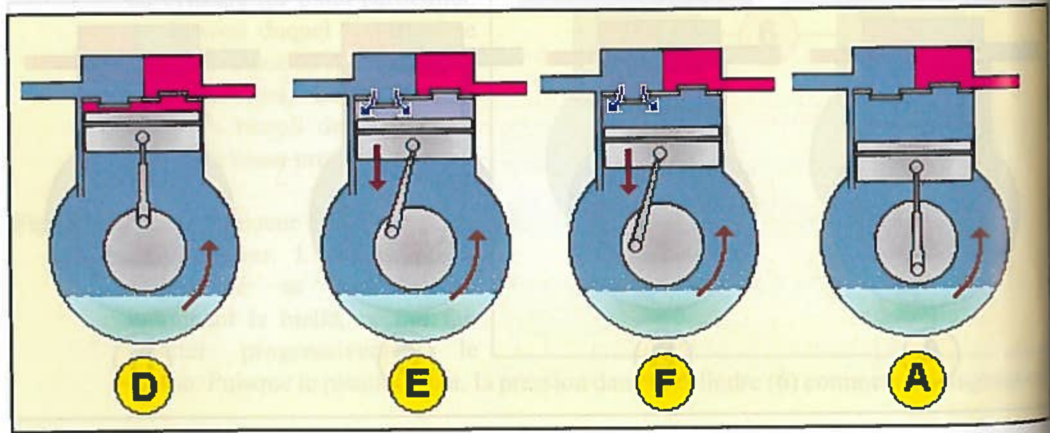


De **C** à **D**, le piston continue de refouler les vapeurs HP mais, arrivé en **D**, le piston est positionné tout en haut du cylindre (ce point particulier, au-dessus duquel le piston ne peut pas monter, s'appelle *le point mort haut*).

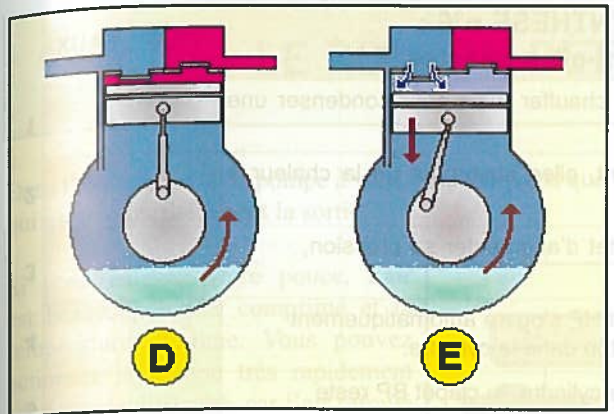
Comme le piston ne monte plus, la pression dans le cylindre s'équilibre avec la HP et le clapet de refoulement se referme.

Notez qu'au point mort haut, il reste un espace entre le piston et la plaque à clapets. Cet espace, appelé « espace neutre » ou « espace nuisible » est indispensable pour éviter que le piston puisse venir « cogner » la plaque à clapet. Remarquez également qu'au point mort haut, l'espace nuisible reste rempli de gaz à haute pression (HP).

Arrivé en **D** (au point mort haut), l'excentrique continue à tourner et le piston va amorcer sa course de descente.



Je vous laisse réfléchir à ce qui va se passer ensuite...

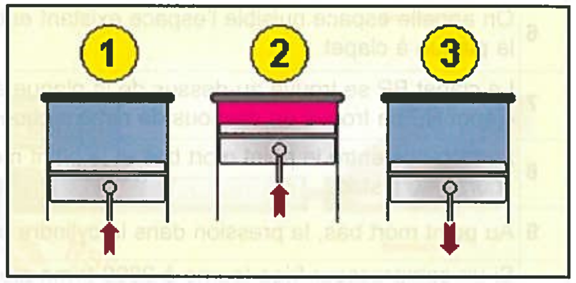


Au point **D**, le piston est au point mort haut, c'est-à-dire qu'il ne peut absolument pas monter plus haut. Les 2 clapets sont fermés et des vapeurs HP sont prisonnières dans l'espace nuisible.

Comme l'excentrique continue de tourner, le piston commence à redescendre dans le cylindre.

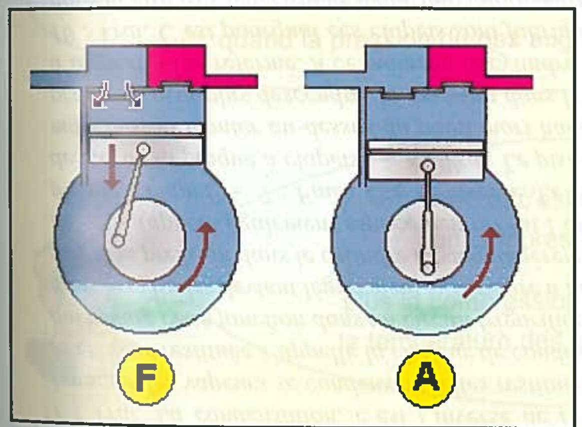
A ce moment, réfléchissons un peu : *que va faire la pression dans le cylindre ?*

Regardons ci-contre : en (**1**), des gaz sont prisonniers dans un espace fermé. Quand on monte le piston jusqu'en (**2**) la pression des gaz augmente.



A présent, si on ramène le piston en (**1**), la pression dans l'espace fermé redevient égale à la pression initiale.

C'est exactement ce qui se passe dans le cylindre de notre compresseur : dès que le piston recommence à descendre, la pression des gaz prisonniers dans le cylindre commence à diminuer. Bien sûr, dès que la pression dans le cylindre devient *légèrement inférieure* à la BP, le clapet d'aspiration ouvre et les vapeurs BP sont alors aspirées dans le cylindre (fig. **E** ci-dessus).



Le clapet BP reste ainsi ouvert pendant toute la durée de la descente du piston.

Arrivé en (**A**), au point mort bas, comme le piston ne peut plus descendre, la pression dans le cylindre s'équilibre avec la BP et le clapet d'aspiration se referme.

A ce moment, le cylindre est entièrement rempli de vapeurs BP et nous voilà revenu à notre point de départ : l'excentrique continuant à tourner, le piston va remonter, compresser les vapeurs BP et les refouler côté HP, *et ainsi de suite...*

En résumé, *pour chaque tour de l'excentrique*, le piston fait un aller et retour en aspirant des vapeurs côté BP et en les refoulant côté HP.

A titre informatif, de nombreux compresseurs ont une vitesse de rotation de 2800 tr/mn. Cela signifie que le piston monte puis descend 2800 fois par minute, c'est-à-dire près de 47 fois par seconde.

Cela veut aussi dire que chaque clapet HP et BP ouvre et ferme alors près de 47 fois par seconde !

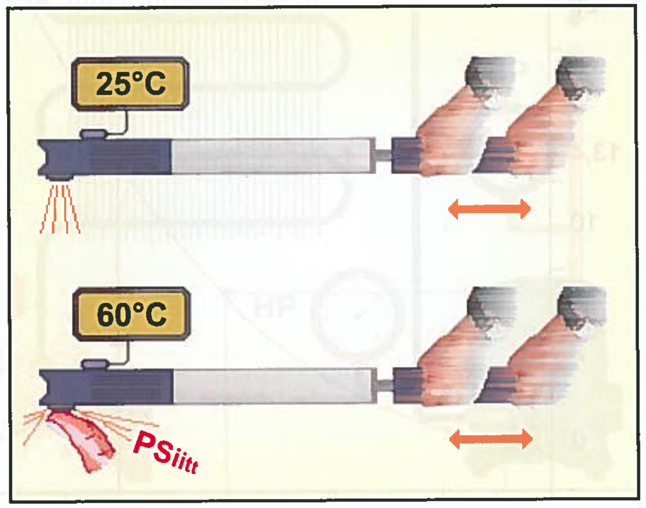
	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°6 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX	
1	Pour vaporiser un liquide, il faut le chauffer mais pour condenser une vapeur, il faut la refroidir.			1
2	Lorsque des vapeurs se condensent, elles absorbent de la chaleur à température constante			2
3	La compression d'un gaz a pour effet d'augmenter sa pression, mais également sa température.			3
4	Dans un compresseur frigo, le clapet HP s'ouvre automatiquement pendant la course de montée du piston dans le cylindre.			4
5	Pendant la montée du piston dans le cylindre, le clapet BP reste hermétiquement fermé.			5
6	On appelle espace nuisible l'espace existant entre le point mort bas et la plaque à clapet.			6
7	Le clapet BP se trouve au-dessus de la plaque à clapets alors que le clapet HP se trouve en dessous de cette plaque.			7
8	La distance entre le point mort bas et le point mort haut représente la course du piston.			8
9	Au point mort bas, la pression dans le cylindre est égale à la BP.			9
10	Si un compresseur frigo tourne à 2800 tr/mn alors ses clapets d'aspiration et de refoulement s'ouvrent et se referment près de 47 fois par seconde.			10

CORRIGÉ DE L'EXERCICE — VRAI — FAUX

1 : Vrai. La condensation, c'est l'inverse de l'évaporation. - 2 : Faux. C'est l'inverse. Lorsque des vapeurs se condensent, elles restituent de la chaleur à température constante (et la chaleur restituée s'appelle la chaleur de condensation). - 3 : Vrai. Et c'est le compresseur qui assure cette fonction dans un circuit frigorifique. - 4 : Vrai. Il s'ouvre dès que la pression dans le cylindre devient légèrement supérieure à la HP. - 5 : Vrai. Le clapet BP ne peut ouvrir que si la pression dans le cylindre devient légèrement inférieure à la BP. - 6 : Faux. L'espace nuisible (appelé également espace neutre) est l'espace existant entre le point mort haut et la plaque à clapet. - 7 : Faux. C'est l'inverse. Le clapet BP est en dessous et le clapet HP au-dessus de la plaque à clapets. - 8 : Vrai. Le piston ne peut ni descendre en dessous du point mort bas, ni monter au-dessus du point mort haut. - 9 : Vrai. Au point mort bas, comme le piston ne peut plus descendre, la pression dans le cylindre s'équilibre avec la BP et le clapet d'aspiration se referme. A ce moment, le cylindre est entièrement rempli de vapeurs BP. - 10 : Vrai. C'est pourquoi ces clapets sont fabriqués avec de l'acier de très haute qualité. Ils doivent être très légers pour avoir une faible inertie et leur minceur les rend très fragiles.

LE RÔLE DU DÉTENDEUR

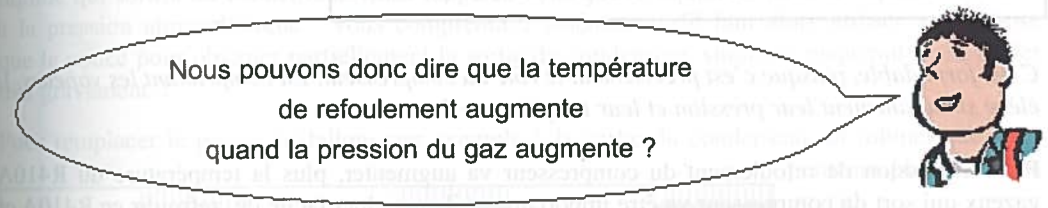
Dans l'expérience de la pompe à vélo, rappelez-vous que l'air s'échauffe entre le piston et le pouce qui obstrue partiellement la sortie.

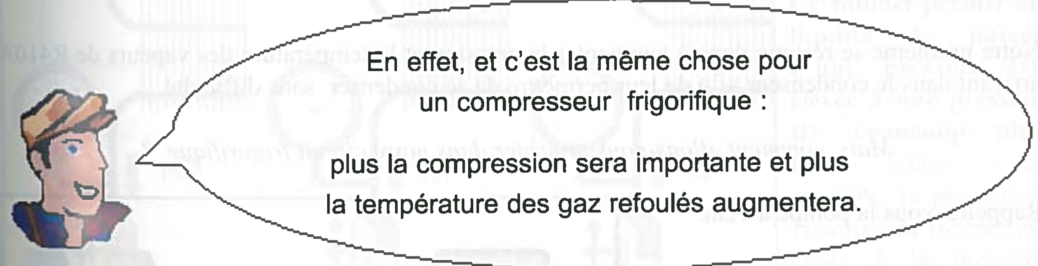


Si vous enlevez votre pouce, l'air est beaucoup moins comprimé et la température diminue. Vous pouvez actionner la pompe très rapidement sans grande difficulté, car l'air refoulé est à faible pression.

A l'inverse, plus vous bouchez la sortie avec votre pouce et plus vous vous rendez compte que la température augmente et qu'il devient de plus en plus difficile d'actionner la pompe.

En fait, plus l'orifice de sortie est obstrué, plus la pression augmente et plus la température augmente.



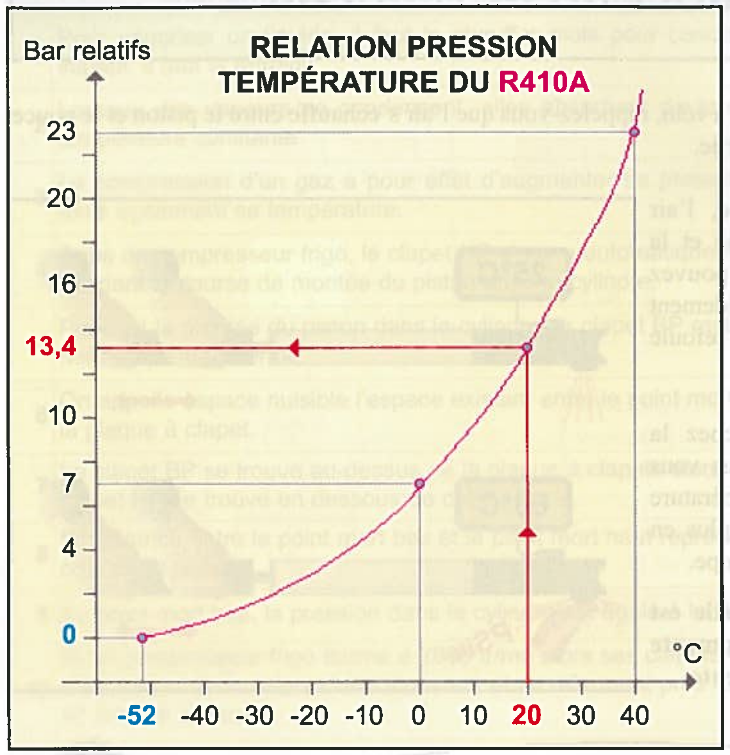


Rappelez-vous, dans le chapitre précédent, nous avons vu que la condensation des vapeurs de R410A ne pouvait être possible que si la température de ces vapeurs était supérieure à la température de la cuisine.

Avec une température ambiante de 20°C dans la cuisine, c'est dire qu'il faut impérativement élever la température du R410A *au-dessus* de ces 20°C.

N'auriez-vous pas une petite idée sur la façon de procéder ?

RELATION PRESSION-TEMPÉRATURE DU R410A



La relation pression-température du R410A nous indique qu'à 20°C, *le palier de condensation* (ou celui de vaporisation, puisque c'est le phénomène inverse) se produit à une pression d'environ 13,4 bar.

En conclusion, afin de condenser les vapeurs de R410A qui sortent de l'évaporateur à –52°C avec de l'air ambiant à 20°C, *il faut donc non seulement augmenter la température de ces vapeurs au-dessus de 20°C mais également augmenter leur pression au-dessus de 13,4 bar.*

C'est formidable, puisque c'est précisément le rôle du compresseur. En comprimant les vapeurs, il élève simultanément leur pression et leur température !

Plus la pression de refoulement du compresseur va augmenter, plus la température du R410A gazeux qui sort du compresseur va être importante et il sera alors facile de refroidir ce R410A et donc de le condenser.

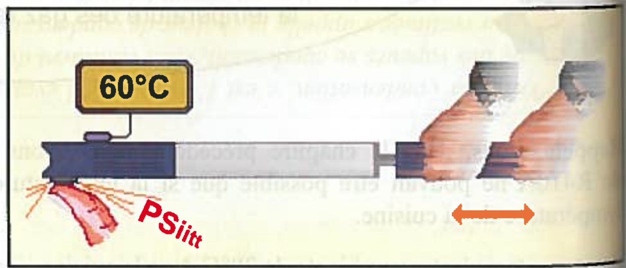
Notre problème se résume donc à augmenter la pression et la température des vapeurs de R410A arrivant dans le condenseur afin de leur permettre de se condenser sans difficulté.

Mais, comment allons-nous procéder dans notre circuit frigorifique ?

Rappelez-vous la pompe à vélo.

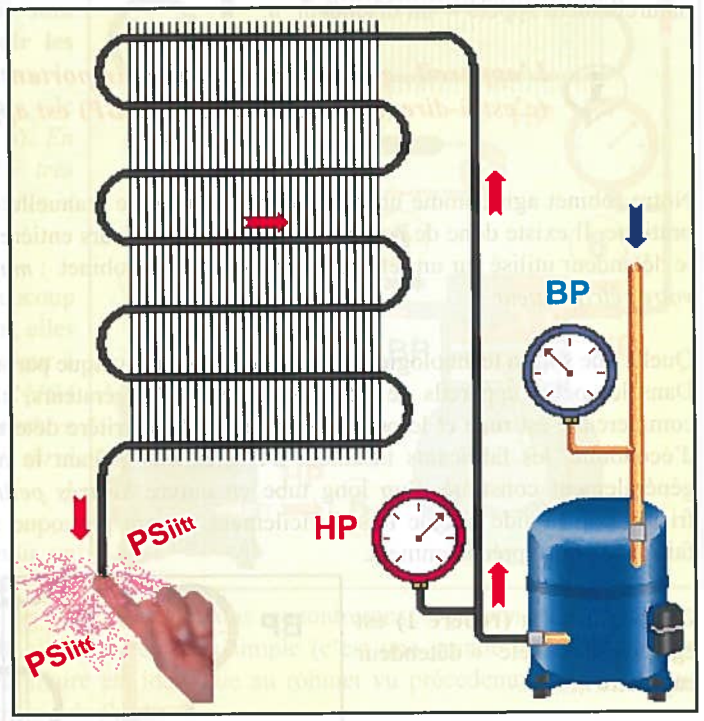
Plus l'orifice de sortie est obstrué, plus la pression augmente et plus la température augmente.

L'air sortant de la pompe est alors très chaud.



Bien sûr, cet air très chaud ne demande alors qu'à être refroidi...

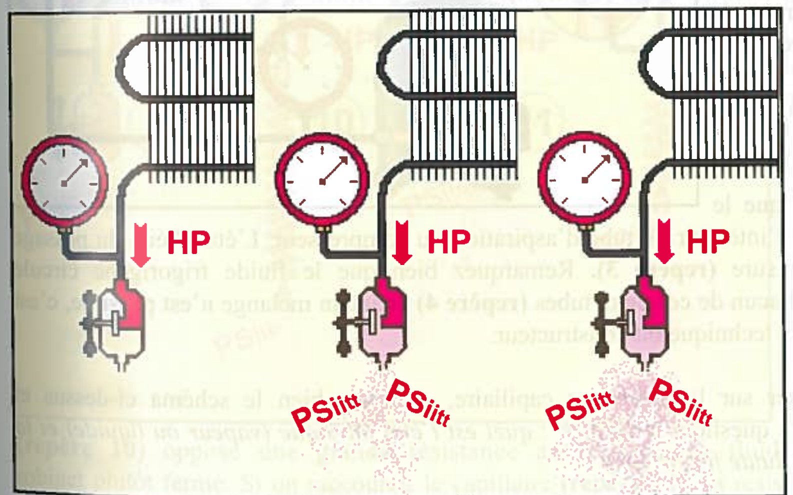
Si nous voulons refroidir le R410A gazeux afin de le condenser, il faut augmenter sa température et sa pression à l'intérieur du condenseur. Pour reprendre l'image de la pompe à vélo, « le pouce » qui obstrue partiellement le circuit devra se situer à la sortie du condenseur.



De cette façon, le fluide aspiré en BP puis comprimé dans le compresseur sera refoulé en HP et maintenu à forte pression dans le condenseur grâce au pouce qui obstrue partiellement sa sortie.
Le fluide étant en HP dans le condenseur (bien au-dessus de 13,4 bar), sa température sera supérieure à 20°C. L'air de la cuisine à 20°C pourra donc refroidir sans difficulté les vapeurs de R410A chaudes et permettre leur condensation.

Les vapeurs de R410A se condensant, c'est du R410A liquide qui sortira du condenseur. Mais rappelez-vous que le liquide R410A se vaporise à –52°C à la pression atmosphérique : vous comprendrez aisément qu'il faut alors utiliser autre chose que le pouce pour obstruer partiellement la sortie du condenseur, sinon on risquerait de se brûler très gravement !

Pour remplacer le pouce, installons par exemple à la sortie du condenseur un robinet que nous pourrons plus ou moins ouvrir.



Ce robinet permet au liquide de passer d'une pression HP élevée à une pression BP beaucoup plus faible (dans notre exemple, la pression à la sortie du robinet est égale à la pression atmosphérique) : *il provoque donc une importante chute de pression.*

Dans le jargon du frigoriste, on dit qu'un fluide qui subit une importante chute de pression s'est détendu, qu'il a subit **une détente.**

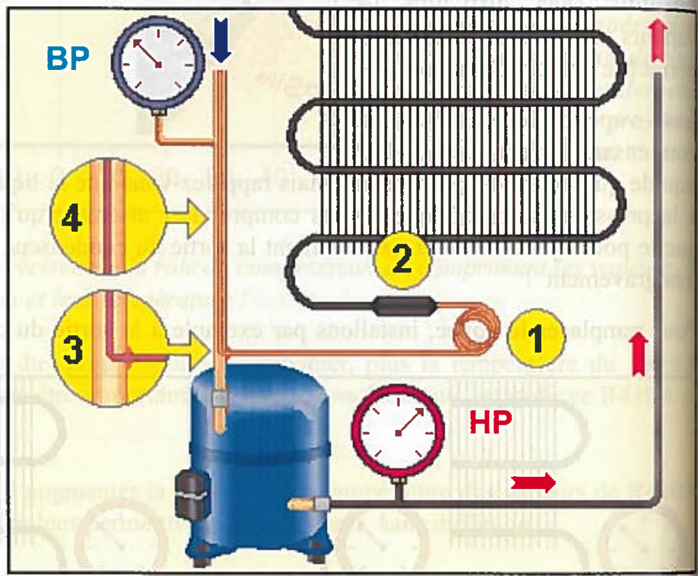
A votre avis, comment les frigoristes appellent-ils le robinet ci-dessus ?

L'appareil qui provoque une détente (c'est-à-dire une importante chute de pression) est tout naturellement appelé « un détendeur ».

L'appareil qui provoque une importante chute de pression (c'est-à-dire le passage de HP à la BP) est appelé : le détendeur.

Notre robinet agit comme un détendeur à commande manuelle. Un tel détendeur ne serait guère pratique. Il existe donc de nombreux types de détendeurs entièrement automatiques. Par exemple, le détendeur utilisé sur un réfrigérateur n'est pas un robinet : *mais savez-vous où il se trouve dans votre réfrigérateur ?*

Quelle que soit sa technologie, le détendeur est situé quelque part sur le tube qui sort du condenseur. Dans les petits appareils de très grande série (réfrigérateurs, climatiseurs, etc.), la concurrence commerciale est rude et le prix de l'appareil est un critère déterminant. C'est pourquoi, par souci d'économie, les fabricants installent un détendeur coûtant le moins cher possible. Celui-ci est généralement constitué d'un long tube en cuivre *de très petit diamètre* dans lequel le fluide frigorigène liquide circule très difficilement, ce qui provoque « un embouteillage », comme le faisait le pouce précédemment.



Ce tube très fin **(repère 1)** est également appelé « détendeur capillaire ».

A la sortie du condenseur, vous avez dû également remarquer le filtre **(repère 2)**.

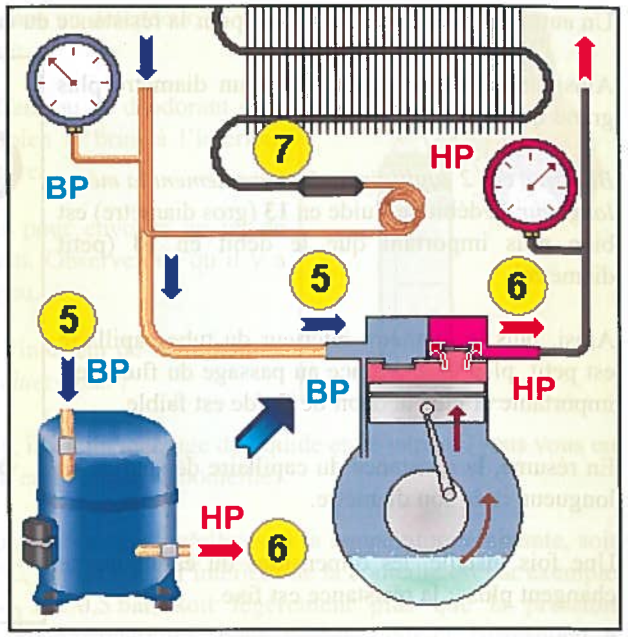
Le rôle de ce filtre est de piéger d'éventuelles impuretés (copeaux de cuivre, grain de décapant ou de brasure, etc.) qui pourraient boucher le tube capillaire dont le diamètre intérieur est très fin.

L'autre particularité est que le tube capillaire pénètre à l'intérieur du tube d'aspiration du compresseur. L'étanchéité du passage est assurée par une brasure **(repère 3).** Remarquez bien que le fluide frigorigène circule indépendamment dans chacun de ces deux tubes **(repère 4)** et aucun mélange n'est possible, c'est tout simplement un choix technique du constructeur.

Mais, avant de continuer sur le détendeur capillaire, observez bien le schéma ci-dessus et réfléchissez un peu aux 2 questions suivantes : *quel est l'état physique (vapeur ou liquide) et la pression (BP ou HP) du fluide frigorigène :*

1) à l'entrée du condenseur ?

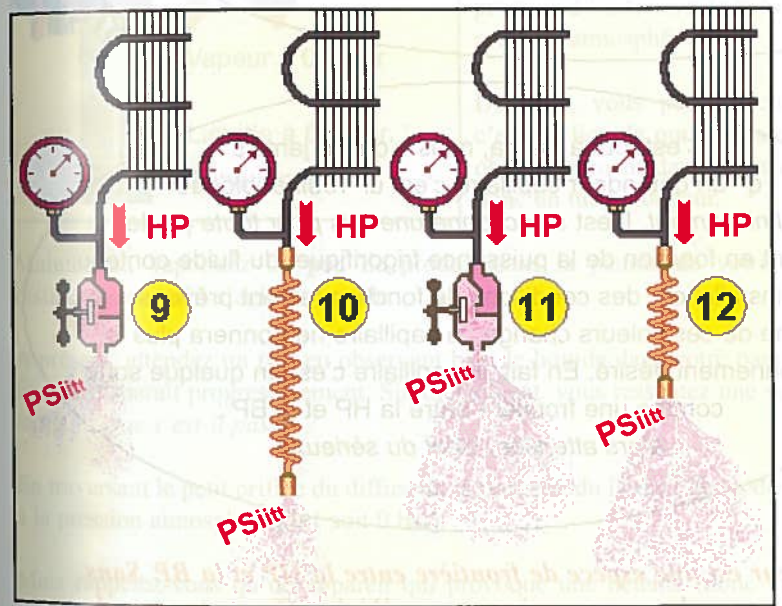
2) à l'entrée du détendeur capillaire ?



Nous avons vu dans le chapitre précédent que les vapeurs BP sont aspirées par le compresseur **(voir les 2 repères 5)**, compressées dans le cylindre puis refoulées vers le condenseur **(voir les 2 repères 6)**. *En conclusion, ce sont des vapeurs HP très chaudes qui sortent du compresseur et entrent dans le condenseur.*

Les vapeurs de R410A étant beaucoup plus chaudes que l'air environnant, elles se condensent en cédant leur chaleur à l'air de la cuisine. *C'est donc du R410A liquide à haute pression qu'on retrouve à la sortie du condenseur, et bien sûr à l'entrée du capillaire* ***(repère 7)****.*

A présent, nous allons approfondir un peu nos connaissances sur le détendeur capillaire. En effet, c'est ce type de détendeur que nous rencontrerons *fréquemment* sur les petits climatiseurs. Bien qu'il soit technologiquement très simple (c'est une grande longueur de tube de petit diamètre), l'action du capillaire est identique au robinet vu précédemment : *créer une résistance, une opposition au passage du fluide.*

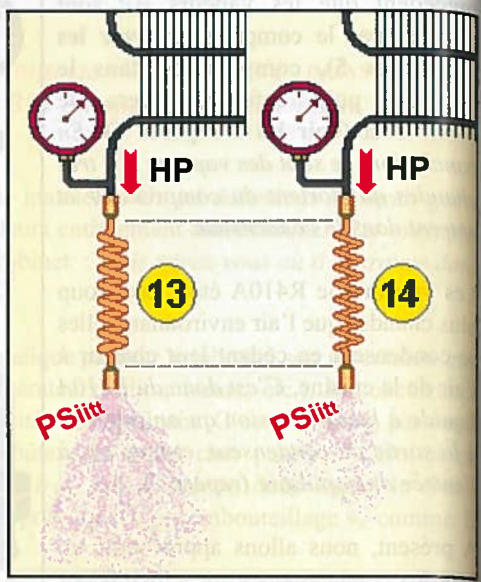


Dans le cas du robinet, cette résistance dépend de son ouverture. S'il est presque fermé, le robinet laisse passer un débit minimum **(repère 9)**. Ouvert à fond, le robinet laisse passer un débit maximum **(repère 11)**. Le débit est donc fonction de l'ouverture, c'est-à-dire de la résistance du robinet au passage du fluide.

Par comparaison, la résistance du capillaire dépend de sa longueur. Un capillaire plutôt long **(repère 10)** oppose une grande résistance au passage du fluide, comme le ferait un robinet plutôt fermé. Si on raccourcit le capillaire **(repère 12),** sa résistance diminue : le fluide peut alors circuler beaucoup plus facilement, comme il le ferait au travers d'un robinet plutôt ouvert.

Mais, ne voyez-vous rien d'autre qui pourrait influer sur la résistance du capillaire ?

Un autre paramètre très important pour la résistance du capillaire est le diamètre intérieur du tube.



Ainsi, le capillaire **repère 13** a un diamètre plus grand que le capillaire **repère 14**.

Bien que ces 2 capillaires aient exactement la même longueur, le débit de fluide en **13** (gros diamètre) est bien plus important que le débit en **14** (petit diamètre).

Ainsi, plus le diamètre intérieur du tube capillaire est petit, plus la résistance au passage du fluide est importante et plus le débit de fluide est faible.

En résumé, la résistance du capillaire dépend de sa longueur et de son diamètre.

Une fois installé, les dimensions du capillaire ne changent plus : la résistance est fixe.



En fait, un tube capillaire, c'est comme un robinet bloqué dans une position définie par le fabricant !

C'est tout à fait ça, mais n'oublie jamais qu'un détendeur capillaire c'est un robinet bloqué *définitivement.* Il est *sélectionné une fois pour toute* par le fabricant en fonction de la puissance frigorifique, du fluide contenu dans l'installation, des conditions de fonctionnement prévues, etc. Si une de ces valeurs change, le capillaire ne donnera plus le fonctionnement désiré. En fait, le capillaire c'est en quelque sorte comme une frontière entre la HP et la BP : *alors attention, c'est du sérieux !*



Le détendeur est une espèce de frontière entre la HP et la BP. Sans détendeur, pas de compression, pas d'échauffement, pas de condensation, pas de fluide frigorigène liquide et donc pas d'évaporation : sans détendeur, pas de cycle frigorifique !

Maintenant que nous savons que c'est du fluide frigorigène liquide qui arrive à l'entrée du détendeur, *nous allons essayer de préciser dans quel état physique se trouve le fluide à sa sortie...*



Pour mieux comprendre ce qui se passe dans un détendeur, je vous invite à réaliser une expérience très simple :

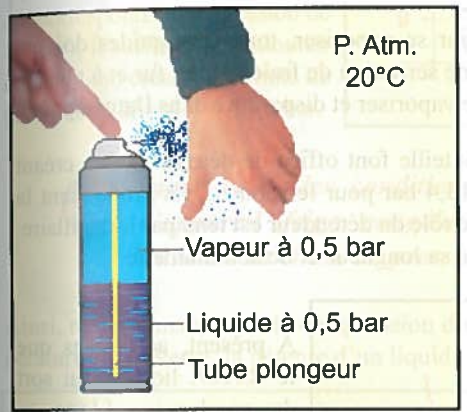
a) Prenez une bouteille de spray coiffant ou de déodorant sous pression. Secouez-la en écoutant bien le bruit à l'intérieur puis essayez d'évaluer sa température.

b) Ensuite, appuyez sur le diffuseur pour envoyer un jet de produit à l'intérieur de l'autre main. Observez ce qu'il y a dans votre paume et patientez un peu.

c) Quelle sensation ressentez-vous à l'intérieur de votre main : plutôt froid ou chaud ? *Qu'en concluez-vous ?*

A l'intérieur d'une telle bouteille de spray, il y a un mélange de liquide et de vapeur (vous vous en rendez facilement compte au bruit obtenu en secouant la bouteille).

Lorsque vous prenez la bouteille en main, vous sentez qu'elle est à la température ambiante, soit une vingtaine de degrés. Disons qu'à 20°C, la pression à l'intérieur de la bouteille est par exemple de 0,5 bar, soit légèrement plus que la pression atmosphérique (pour rappel, celle-ci correspond à 0 bar).



Ensuite, lorsque vous appuyez sur le diffuseur, du produit sort de la bouteille. Cela prouve bien que la pression à l'intérieur de la bouteille est supérieure à la pression atmosphérique.

De plus, vous pouvez constater au passage que c'est du liquide qui sort, alors que celui-ci se trouve obligatoirement dans le fond de la bouteille : il y a donc un tube plongeur.

Maintenant, vaporisez un peu de produit dans la paume de votre main : vous voyez très distinctement qu'il s'agit de liquide.

A présent, attendez un peu en observant bien le liquide dans votre paume. Vous constatez que le liquide disparaît progressivement. Simultanément, vous ressentez une sensation de fraîcheur dans la main. *Que s'est-il passé ?*

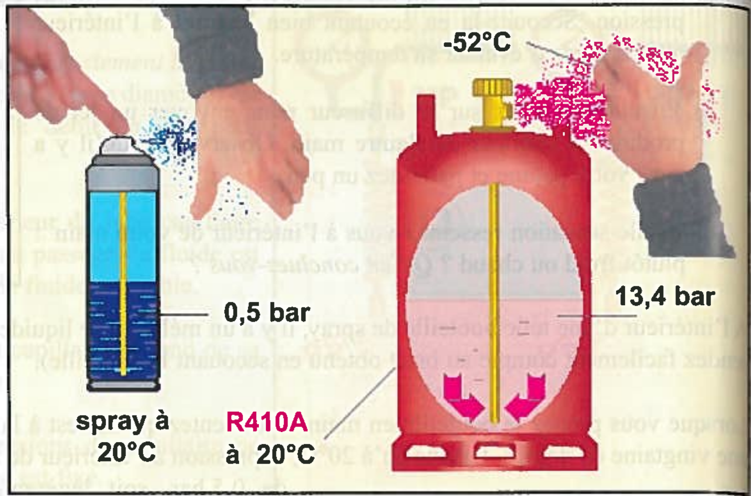
En traversant le petit orifice du diffuseur, la pression du liquide chute de 0,5 bar (dans la bouteille) à la pression atmosphérique (soit 0 bar).

Mais rappelez-vous qu'un appareil qui provoque une détente (donc une chute de pression) est appelé « un détendeur ».

Le diffuseur de la bouteille de spray se comporte donc comme un mini-détendeur.

Vous commencez à comprendre cette sensation de fraîcheur ?

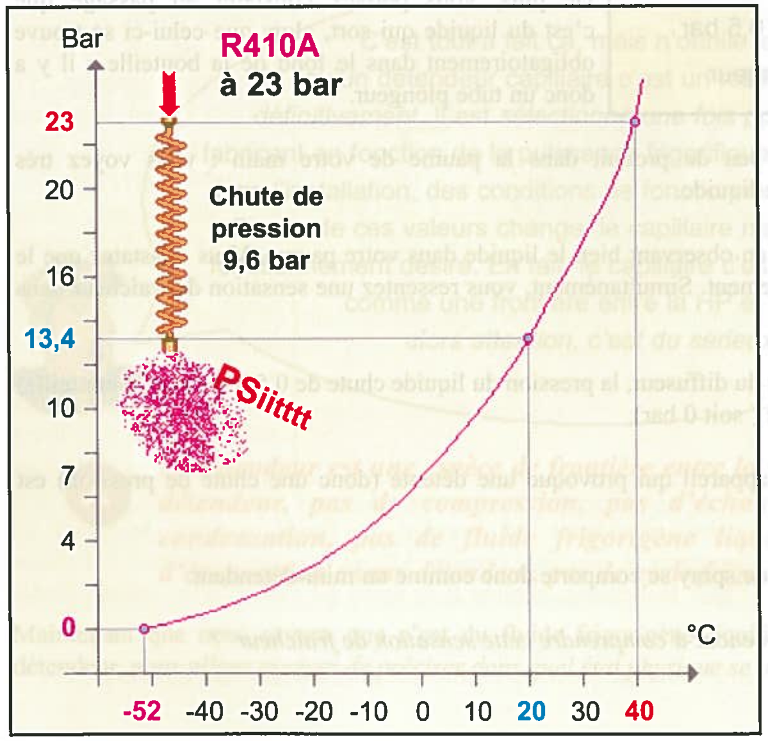
Rappelez-vous : quand le R410A à 20°C et à 13,4 bar sortait de la bouteille, il se détendait à la pression atmosphérique (ambiance à 20°C et 0 bar). Le liquide se vaporisait alors en absorbant de la chaleur à l'air environnant et à votre main.



Pour mémoire, attendu que le R410A liquide se vaporise à –52°C à la pression atmosphérique, vous risquiez une brûlure très grave.

En sortant de la bouteille de spray, le liquide à 20°C et 0,5 bar se détend à la pression atmosphérique (ambiance à 20°C et à 0 bar) exactement comme le R410A (heureusement, les fabricants mettent dans leurs sprays des liquides qui se vaporisent bien au-dessus de 0°C !). Mais, pour se vaporiser, tous les liquides doivent absorber de la chaleur. C'est pourquoi vous ressentez une sensation de fraîcheur au fur et à mesure que le liquide absorbe la chaleur de votre paume pour se vaporiser et disparaître dans l'atmosphère.

Ainsi, le diffuseur du spray comme le robinet de la bouteille font office de détendeur : en créant une chute de pression (de 0,5 bar pour le spray et de 13,4 bar pour le robinet), ils provoquent la vaporisation du liquide. Dans notre circuit frigorifique, le rôle du détendeur est tenu par le capillaire. Nous savons que la résistance de ce capillaire dépend de sa longueur et de son diamètre.



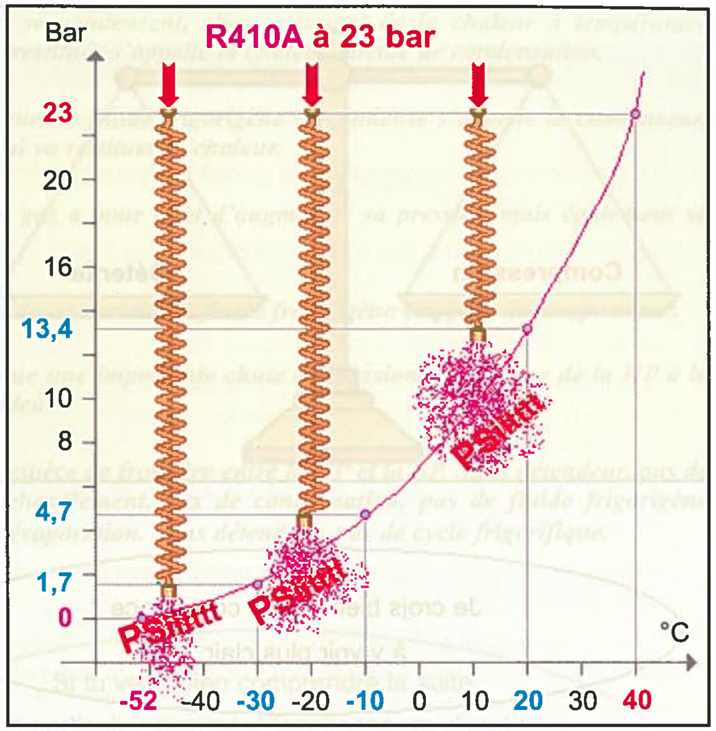
A présent, admettons que le R410A liquide qui sort du condenseur (donc en HP) arrive à l'entrée du capillaire à 23 bar, ce qui correspond à un palier de condensation de 40°C, comme le montre la courbe pression-température du R410A.

Si le capillaire a été sélectionné pour créer une chute de pression de 9,6 bar, la pression du liquide sera de 13,4 bar à sa sortie et il se vaporisera à 20°C.

Pensez-vous que cela convienne pour refroidir nos aliments ?

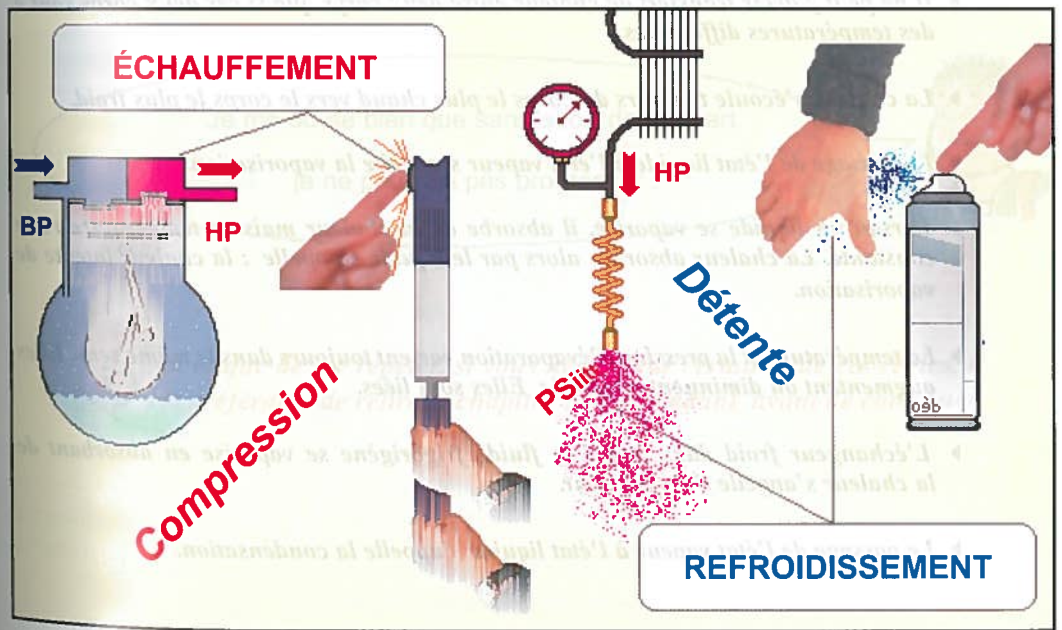
Par contre, si le fabricant a choisi un capillaire plus long, qui crée donc une chute de pression plus importante que précédemment, le liquide sera par exemple à 4,7 bar à la sortie, ce qui correspond à -10°C et qui semble donc déjà beaucoup plus satisfaisant pour refroidir nos aliments.

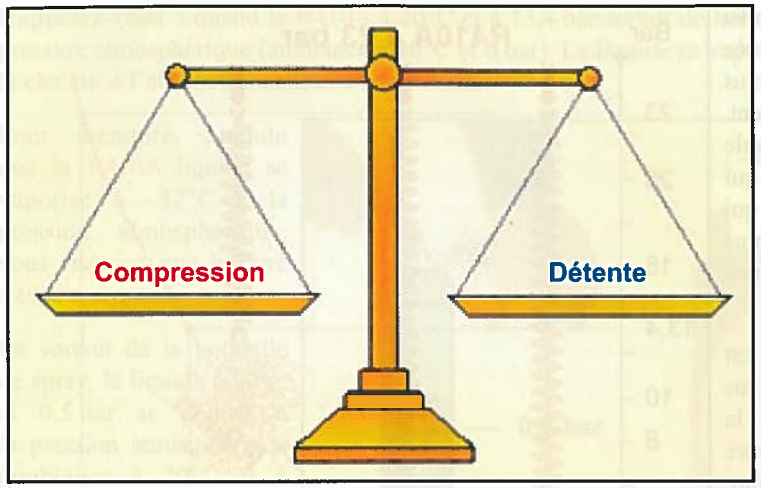
Notez que si le capillaire est encore plus long (ou de plus faible diamètre intérieur), la chute de pression sera encore plus importante et la température d'évaporation sera encore plus basse. Ainsi, si on veut que le liquide se vaporise à –30°C (ce qui correspond à une pression de 1,7 bar), il suffit de sélectionner un capillaire créant une chute de pression de 23 – 1,7 = 21,3 bar.



Ainsi, selon les conditions de fonctionnement désirées et le type d'appareil (frigo, congélateur, etc.), le fabricant peut déterminer à l'avance la chute de pression que devra créer son capillaire.

Ainsi, nous avons vu que la compression d'un gaz a pour effet d'augmenter sa pression et sa température. A l'inverse, la détente d'un liquide a pour effet de diminuer sa pression et sa température.

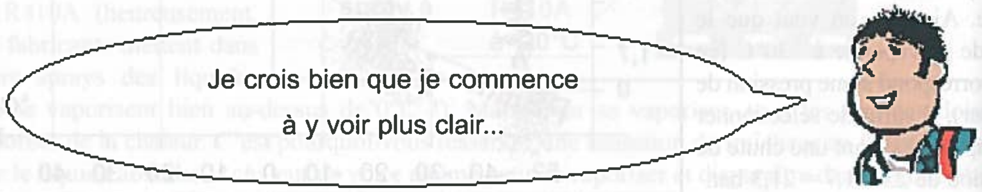




En effet, la détente produit exactement l'effet inverse de la compression :

Compression = augmentation de la pression et de la température.

Détente = diminution de la pression et de la température.

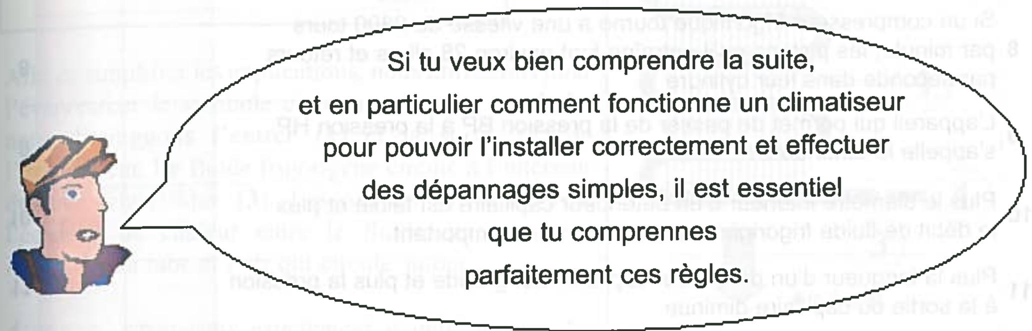


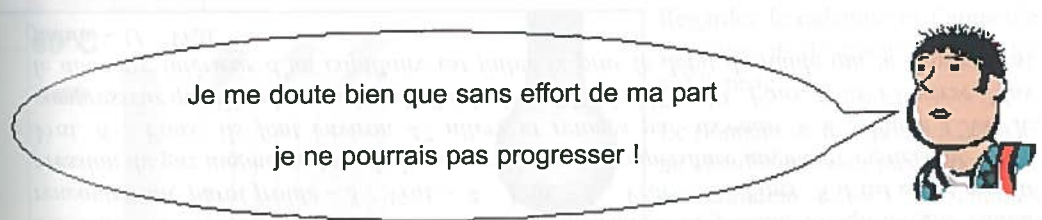
Résumons-nous :

Nous venons de faire le tour des principes de fonctionnement du circuit frigorifique. Avant de continuer, je vous propose de faire un récapitulatif des principales règles à retenir. Si vous hésitez sur l'une de ces règles, révisez le chapitre correspondant avant de continuer.

- ***Il ne peut y avoir transfert de chaleur entre deux corps que si ces deux corps sont à des températures différentes.***
- ***La chaleur s'écoule toujours du corps le plus chaud vers le corps le plus froid.***
- ***Le passage de l'état liquide à l'état vapeur s'appelle la vaporisation.***
- ***Lorsqu'un liquide se vaporise, il absorbe de la chaleur mais sa température reste constante. La chaleur absorbée alors par le liquide s'appelle : la chaleur latente de vaporisation.***
- ***La température et la pression d'évaporation varient toujours dans le même sens. Elles augmentent ou diminuent ensemble. Elles sont liées.***
- ***L'échangeur froid dans lequel le fluide frigorigène se vaporise en absorbant de la chaleur s'appelle l'évaporateur.***
- ***Le passage de l'état vapeur à l'état liquide s'appelle la condensation.***

- ***Lorsque des vapeurs se condensent, elles restituent de la chaleur à température constante. La chaleur restituée s'appelle la chaleur latente de condensation.***
- ***L'échangeur dans lequel le fluide frigorigène se condense s'appelle le condenseur. C'est cet échangeur qui va restituer la chaleur.***
- ***La compression d'un gaz a pour effet d'augmenter sa pression mais également sa température.***
- ***L'appareil qui permet de comprimer le fluide frigorigène s'appelle le compresseur.***
- ***L'appareil qui provoque une importante chute de pression (le passage de la HP à la BP) s'appelle le détendeur.***
- ***Le détendeur est une espèce de frontière entre la HP et la BP. Sans détendeur, pas de compression, pas d'échauffement, pas de condensation, pas de fluide frigorigène liquide et donc pas d'évaporation. Sans détendeur, pas de cycle frigorifique.***





Au risque de me répéter, si vous hésitez sur certaines de ces règles, il est préférable de relire le chapitre correspondant avant de continuer.

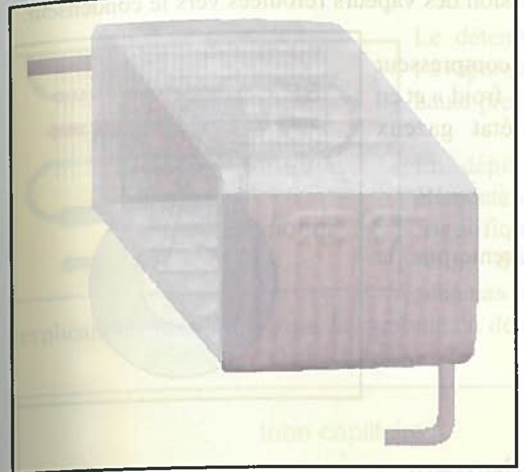
	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°7: Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX	
1	Le passage de l'état gazeux à l'état liquide s'appelle la condensation			1
2	Le phénomène de condensation se produit lorsqu'un gaz froid rencontre une paroi chaude			2
3	Plus l'air est chaud et plus il est capable de contenir de la vapeur d'eau			3
4	Pour vaporiser un liquide, il faut le chauffer mais pour condenser une vapeur il faut la refroidir			4
5	A la pression atmosphérique, pour condenser des vapeurs de R410A à -52°C, il est indispensable de les refroidir à une température inférieure à -52°C			5
6	Quand on comprime un gaz, sa pression augmente mais sa température diminue			6
7	Un compresseur frigorifique à pistons aspire le gaz par le clapet BP puis refoule ce gaz par le clapet HP			7
8	Si un compresseur frigorifique tourne à une vitesse de 2800 tours par minute, les pistons qu'il entraîne font environ 28 allers et retours par seconde dans leur cylindre			8
9	L'appareil qui permet de passer de la pression BP à la pression HP s'appelle le détendeur			9
10	Plus le diamètre intérieur d'un détendeur capillaire est faible et plus le débit de fluide frigorigène qui le traverse est important			10
11	Plus la longueur d'un détendeur capillaire est grande et plus la pression à la sortie du capillaire diminue			11

CORRIGÉ DE L'EXERCICE — VRAI — FAUX

1 : Vrai. - 2 : Faux. C'est le contraire. La condensation se produit lorsqu'un gaz chaud rencontre une paroi froide - 3 : Vrai. - 4 : Vrai. - 5 : Vrai. - 6 : Faux. S'il est exact que la pression du gaz augmente lors de la compression, sa température augmente également. - 7 : Vrai. 8 : Faux. ils font environ 47 allers et retours par seconde. - 9 : Faux. C'est le compresseur qui élève la pression du fluide de la BP à la HP. - 10 : Faux. C'est l'inverse. Plus le diamètre intérieur d'un capillaire est faible et plus le débit de fluide qui le traverse est faible. - 11 : Vrai.

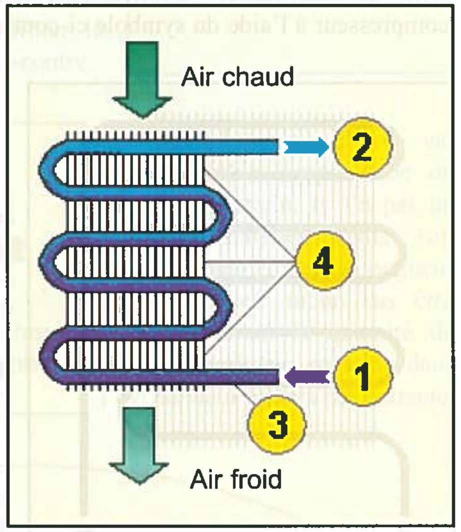
Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

LE CYCLE FRIGORIFIQUE



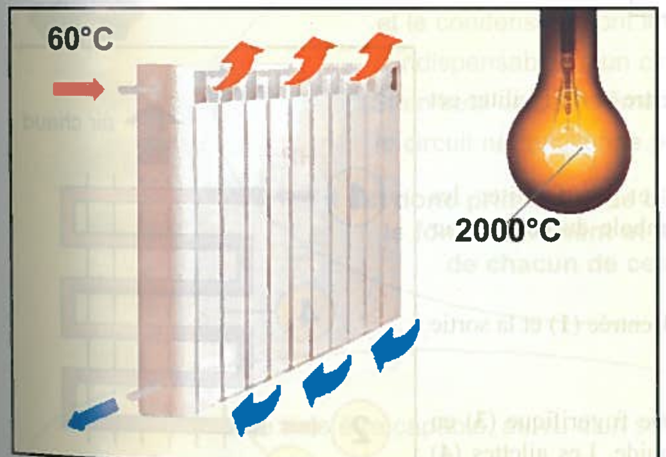
L'évaporateur :

Comme son nom l'indique, c'est à l'intérieur de l'évaporateur que le fluide frigorigène se vaporise : il passe de l'état liquide à l'état vapeur *en absorbant de la chaleur.* C'est pourquoi les aliments placés dans le frigo sont refroidis.



Afin de simplifier les explications, nous utiliserons pour l'évaporateur le symbole ci-contre. Avec ce symbole, nous distinguons l'entrée (1) et la sortie (2) de l'évaporateur. Le fluide frigorigène circule à l'intérieur du tube frigorifique (3). Les ailettes (4) améliorent l'échange de chaleur entre le fluide qui circule à l'intérieur du tube et l'air qui circule autour.

A propos, savez-vous exactement à quoi servent les ailettes ?



Regardez le radiateur et l'ampoule ci-contre, ils devraient vous mettre sur la piste.

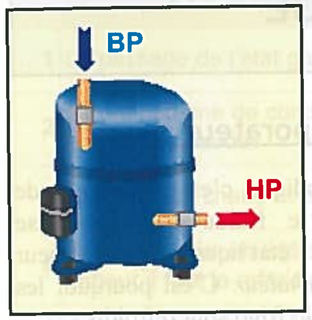
Le filament de l'ampoule à 2000°C ne chauffe pas une pièce, pourtant un radiateur à 60°C la chauffe parfaitement, uniquement car sa surface d'échange en contact avec l'air du local est beaucoup plus importante !

Ainsi, plus la surface d'échange augmente, plus un échangeur thermique devient efficace.

Les ailettes, en augmentant la surface d'échange de l'évaporateur, permettent d'améliorer son efficacité. Leur rôle est donc très important et elles doivent rester toujours propres et en bon état.

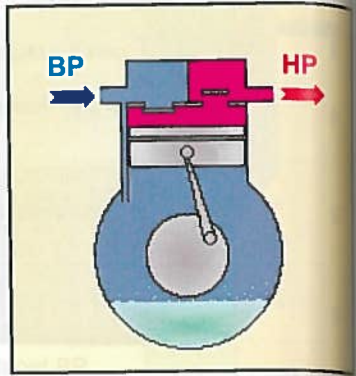
Et maintenant, vous comprenez le rôle des ailettes ?

Le compresseur :

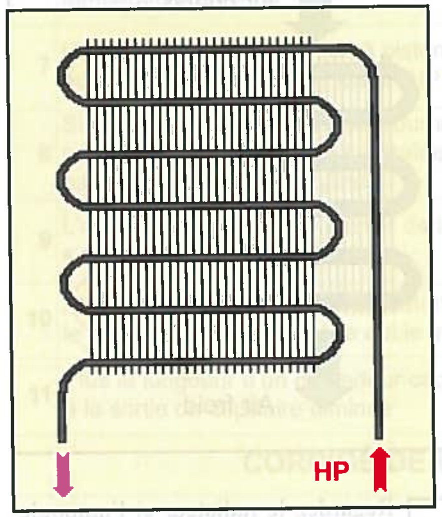


A la sortie de l'évaporateur, le fluide à l'état vapeur basse pression (BP) est aspiré par le compresseur puis comprimé en haute pression (HP). La compression a pour effet d'augmenter simultanément la température et la pression des vapeurs refoulées vers le condenseur.

Le fluide entre dans le compresseur en BP à l'état gazeux « froid » et en ressort en HP à l'état gazeux « chaud ».



Afin de clarifier les explications, nous représenterons le compresseur à l'aide du symbole ci-contre.



Le condenseur :

Le fluide sortant du compresseur est beaucoup plus chaud que la température ambiante de la cuisine.

Il va donc être refroidi dans le condenseur et passer de l'état gazeux à l'état liquide en cédant de la chaleur.

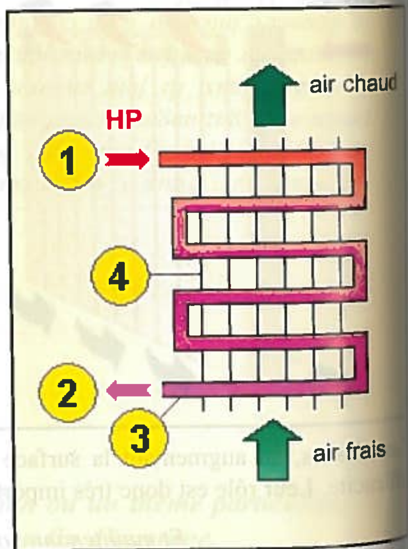
Le transfert de chaleur s'effectue du corps le plus chaud vers le corps le plus froid, c'est-à-dire du fluide frigorigène vers l'air de la cuisine.

Le rôle du condenseur est de permettre et de faciliter cet échange thermique.

Afin de simplifier les schémas et de faciliter les explications, nous utiliserons le symbole du condenseur ci-contre.

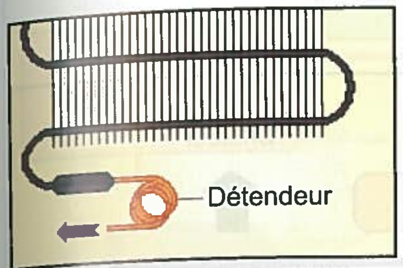
Avec ce symbole, nous distinguons l'entrée (1) et la sortie (2) du condenseur.

Le fluide circule à l'intérieur du tube frigorifique (3) en passant de l'état gazeux à l'état liquide. Les ailettes (4) facilitent l'échange thermique entre le fluide et l'air, exactement comme dans le cas de l'évaporateur.



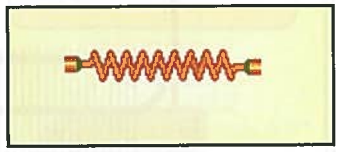
Ce qui différencie le symbole du condenseur de celui de l'évaporateur, c'est uniquement la représentation de l'extrémité des tubes. Afin d'éviter les confusions, on les dessine rectangulaires pour le condenseur et circulaires pour l'évaporateur.

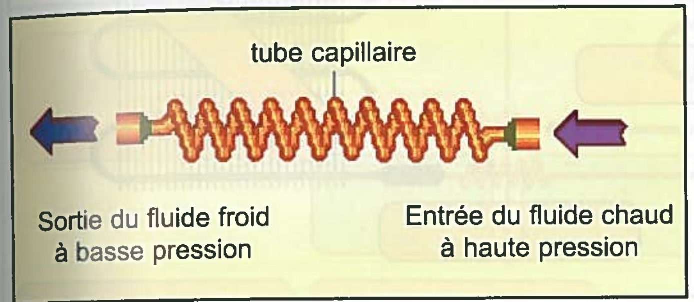
Le détendeur :



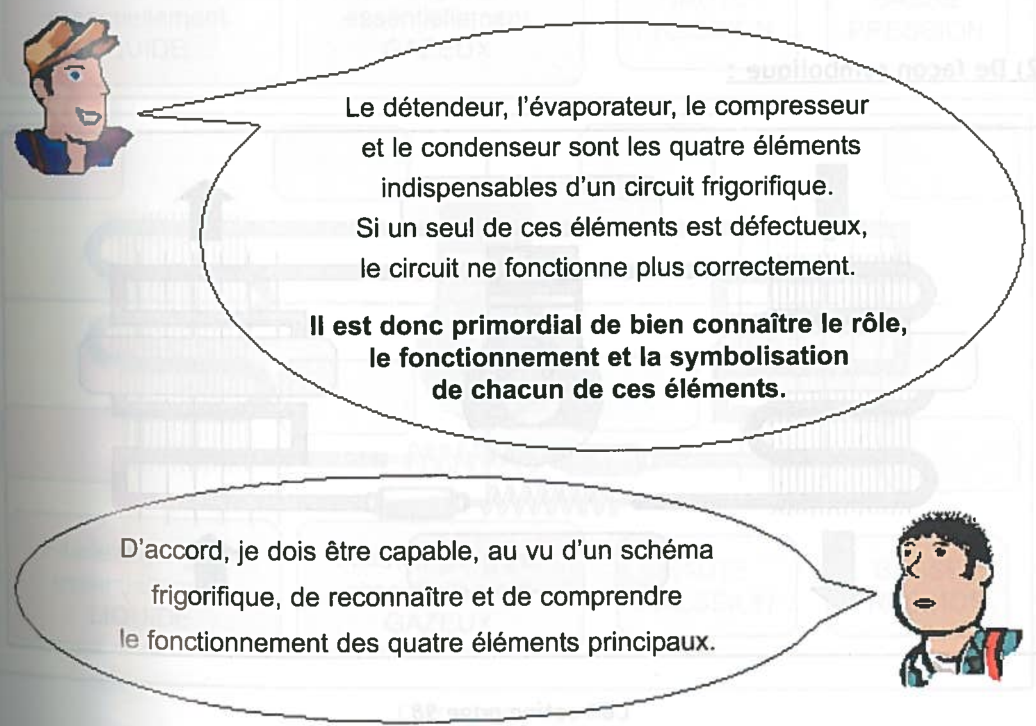
Le détendeur relie la sortie du condenseur à l'entrée de l'évaporateur. Il assure la détente du liquide " chaud " à haute pression en liquide " froid " à basse pression.

En dépit de sa petite taille, il fait partie des quatre éléments essentiels du cycle frigorifique à compression. Afin de simplifier les schémas et de faciliter les explications, nous utiliserons le symbole du détendeur ci-contre.





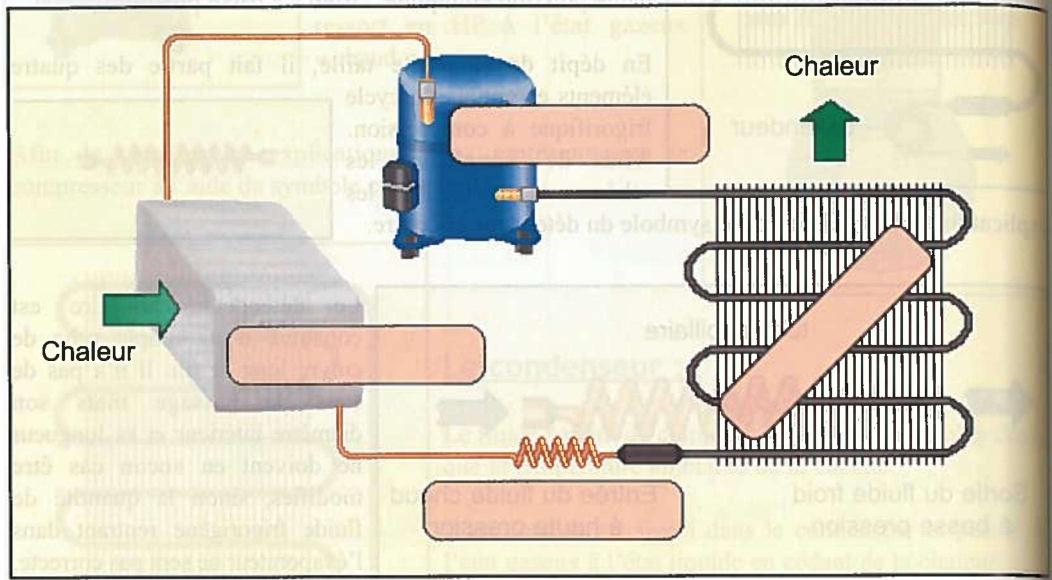
Le détendeur capillaire est constitué d'un simple tube de cuivre long et fin. Il n'a pas de sens de passage mais son diamètre intérieur et sa longueur ne doivent en aucun cas être modifiés, sinon la quantité de fluide frigorigène rentrant dans l'évaporateur ne sera pas correcte.



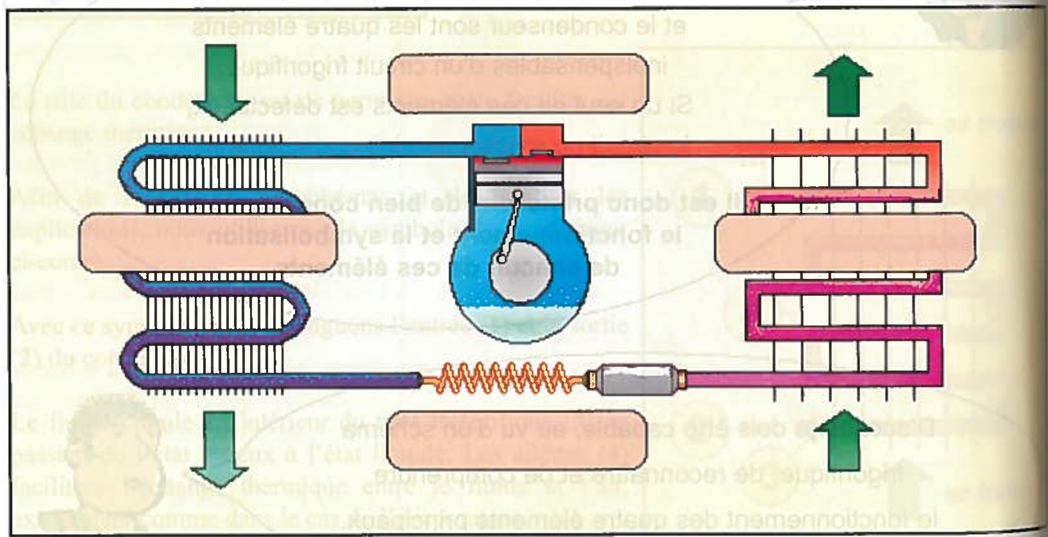
EXERCICE n°1 :

Pour clore ce chapitre, essayez de compléter les croquis suivants. Indiquez le nom des appareils et le sens de circulation du fluide frigorigène :

1) Sur un réfrigérateur :



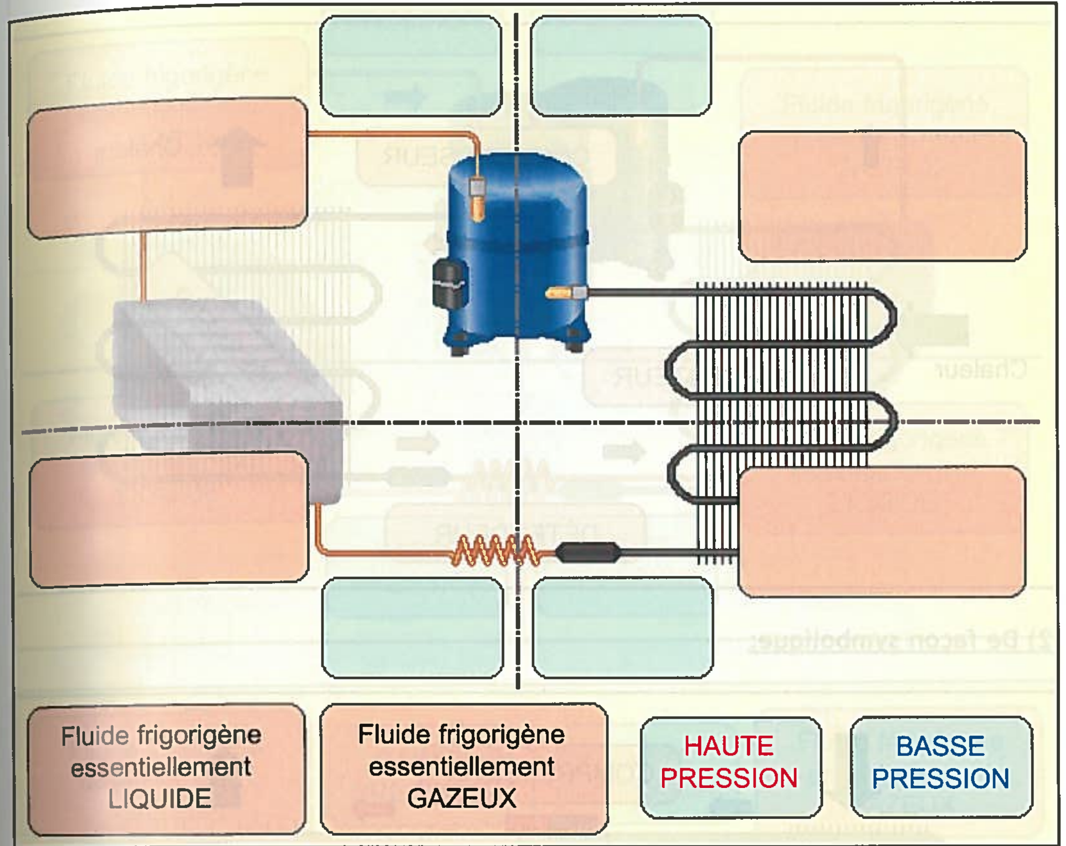
2) De façon symbolique :

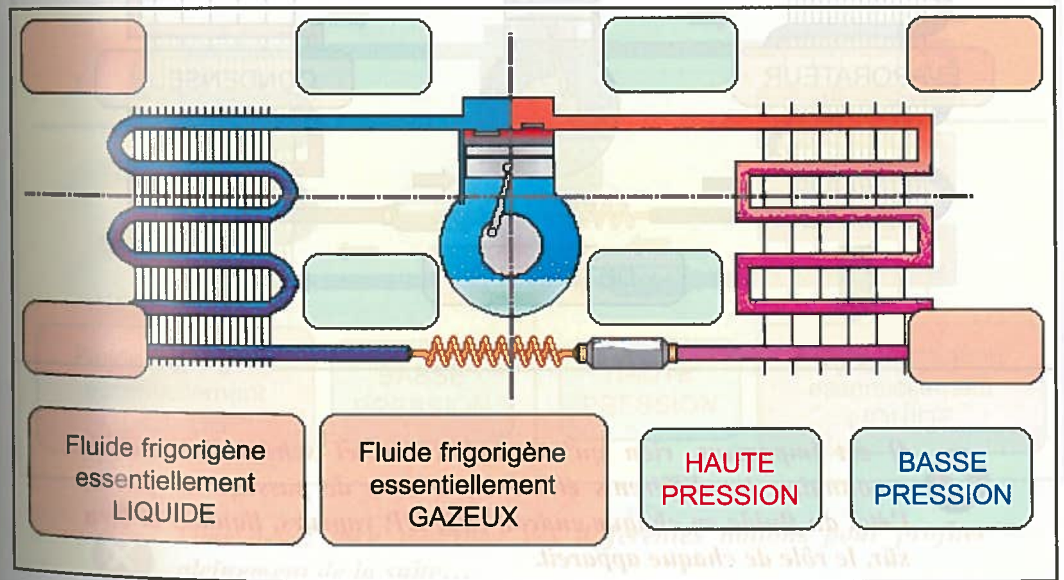


Correction page 98

EXERCICE n°2 :

Le circuit est divisé en quatre parties. Placez les différents textes proposés aux bons endroits :

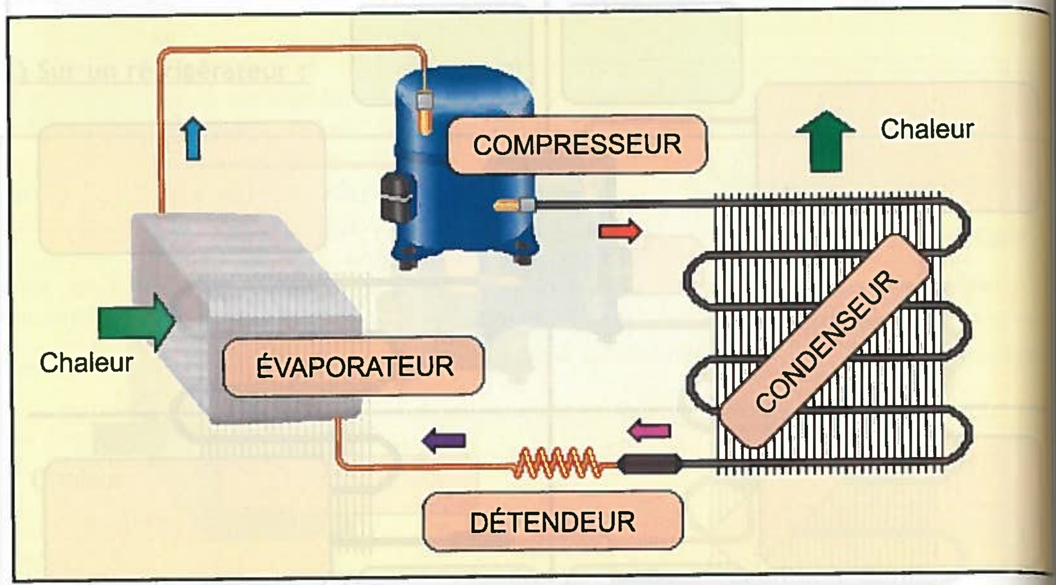




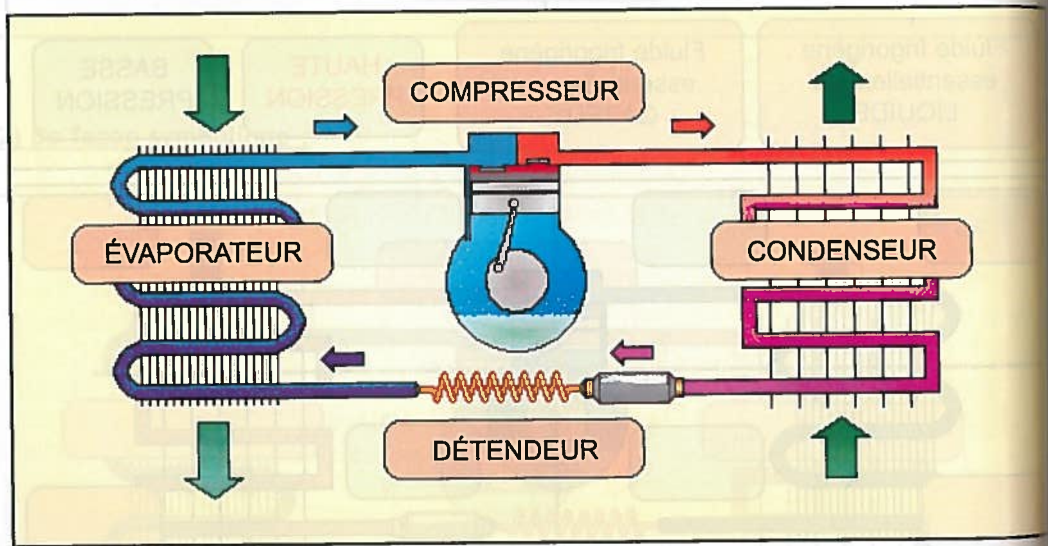
Correction page 99

Correction de l'exercice n°1 :

1) Sur un réfrigérateur :

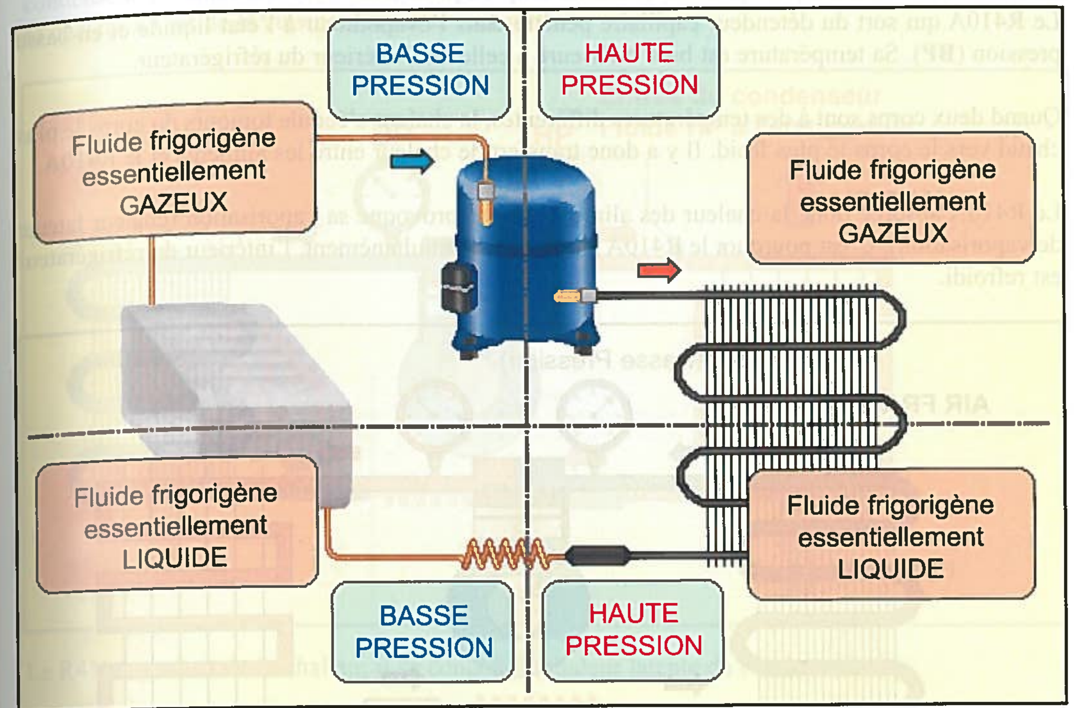


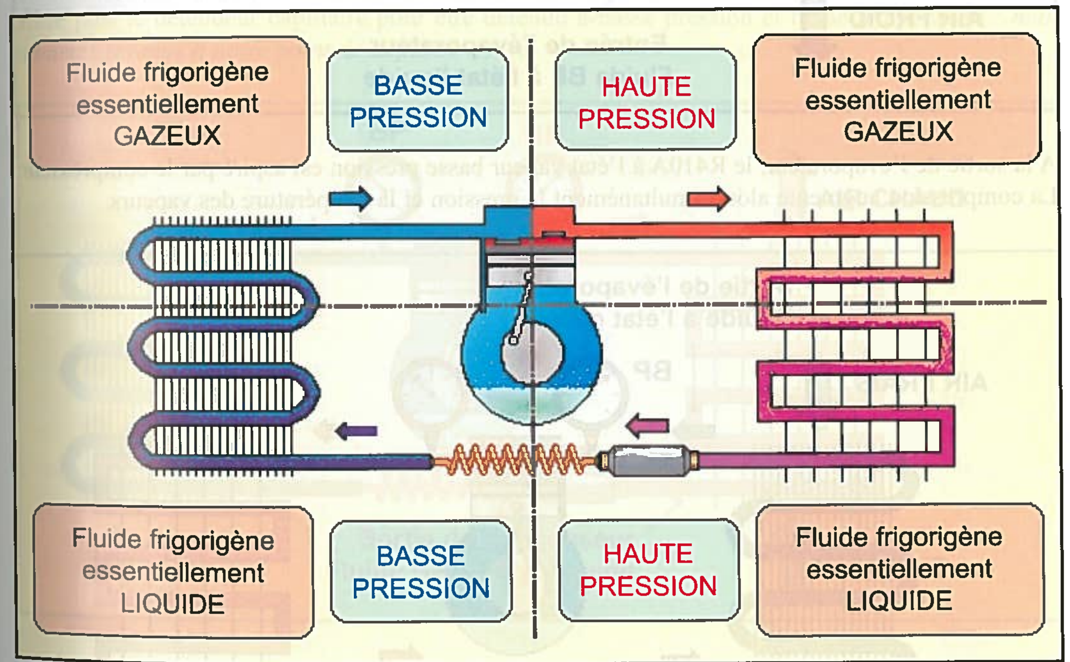
2) De façon symbolique:



Il est important, rien qu'en voyant un tel schéma, de savoir reconnaître les différents éléments, le sens de passage du fluide, l'état du fluide en chaque endroit (BP, HP, vapeurs, liquide) et bien sûr, le rôle de chaque appareil.

Correction de l'exercice 2 :





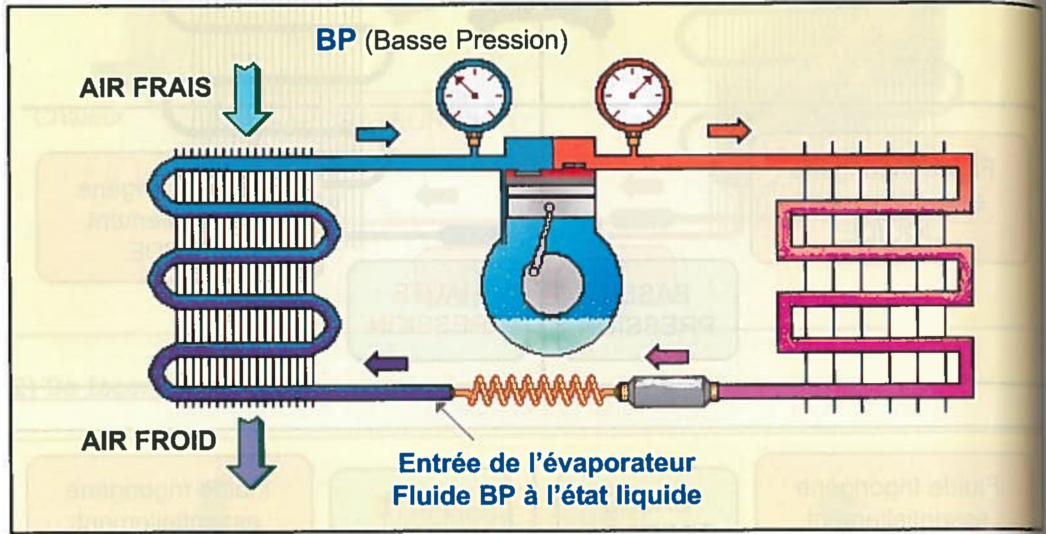
Vous devez bien maîtriser ces différentes notions pour profiter pleinement de la suite…

En résumé :

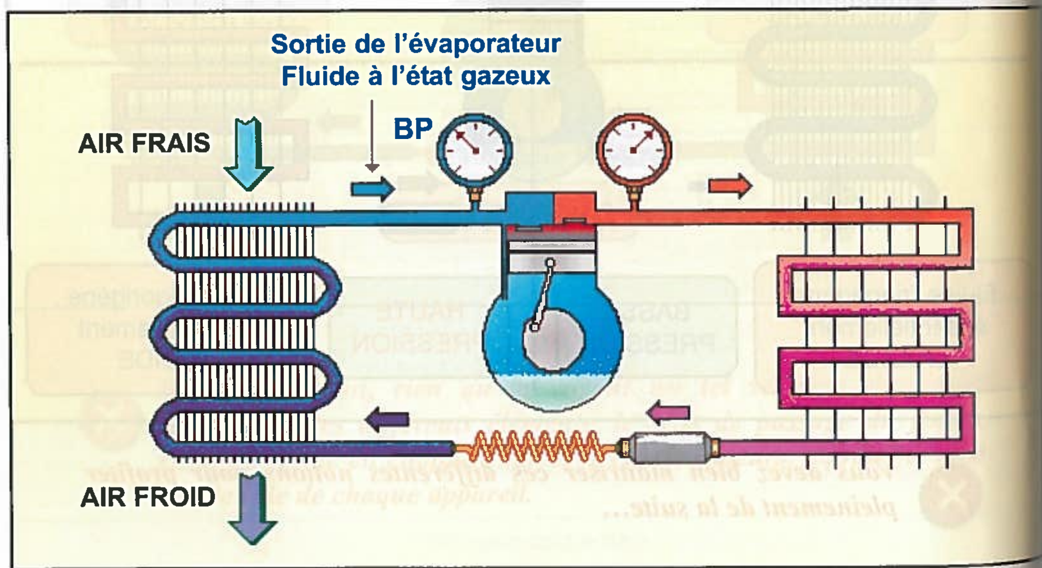
Le R410A qui sort du détendeur capillaire pénètre dans l'évaporateur à l'état liquide et en basse pression (**BP**). Sa température est bien inférieure à celle de l'intérieur du réfrigérateur.

Quand deux corps sont à des températures différentes, la chaleur s'écoule toujours du corps le plus chaud vers le corps le plus froid. Il y a donc transfert de chaleur entre les aliments et le R410A.

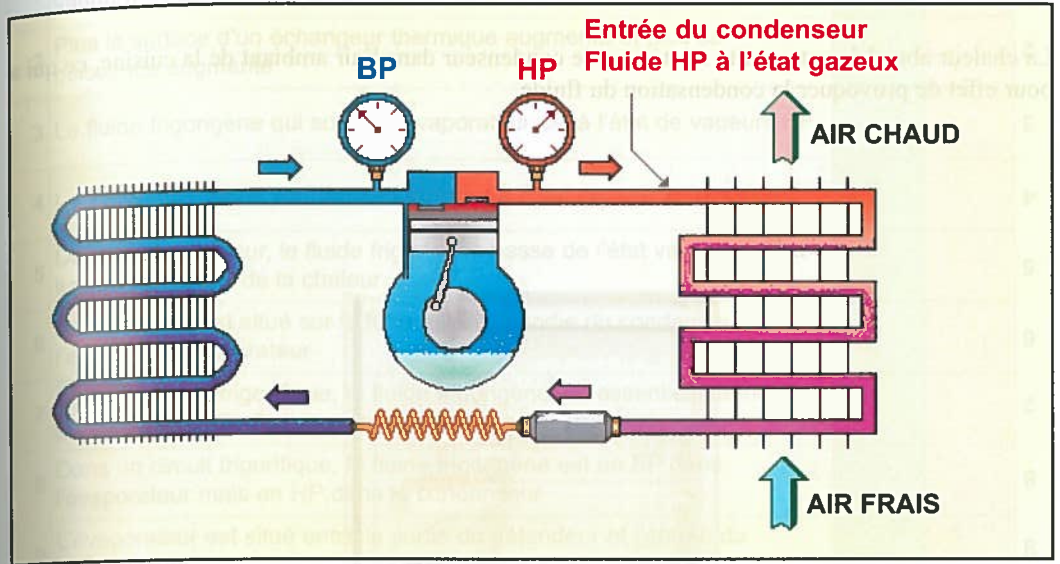
Le R410A absorbe donc la chaleur des aliments ce qui provoque sa vaporisation (chaleur latente de vaporisation). C'est pourquoi le R410A s'évapore et simultanément, l'intérieur du réfrigérateur est refroidi.



A la sortie de l'évaporateur, le R410A à l'état vapeur basse pression est aspiré par le compresseur. La compression augmente alors simultanément la pression et la température des vapeurs.

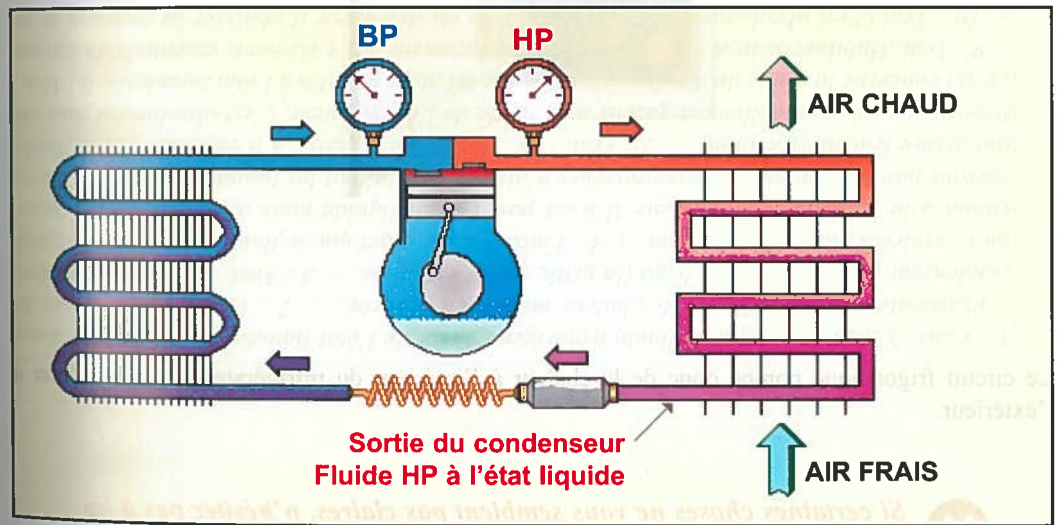


Les vapeurs de R410A en haute pression (**HP**) et à haute température pénètrent ensuite dans le condenseur. La chaleur s'écoulant du corps le plus chaud vers le corps le plus froid, le R410A cède sa chaleur à l'air de la cuisine, lequel se réchauffe.



Le R410A perdant de la chaleur, il se condense (chaleur latente de condensation).

A la sortie du condenseur, le R410A est à l'état liquide haute pression. Il traverse alors le filtre puis le détendeur capillaire pour être détendu à basse pression et basse température *: nous sommes revenus à notre point de départ.*



A chaque tour du circuit, le R410A repasse exactement aux mêmes endroits, dans le même état physique et avec les mêmes propriétés, sans jamais s'user.

C'est pour cette raison que certains réfrigérateurs peuvent fonctionner plus de trente ans sans aucune intervention sur leur circuit frigorifique.

Conclusion :

Le réfrigérateur est doté d'un évaporateur dans lequel le fluide frigorigène absorbe de la chaleur en passant de l'état liquide à l'état vapeur. Simultanément, l'enceinte du " frigo " est refroidie.

La chaleur absorbée est ensuite rejetée par le condenseur dans l'air ambiant de la cuisine, ce qui a pour effet de provoquer la condensation du fluide.



Le circuit frigorifique pompe donc de la chaleur à l'intérieur du réfrigérateur pour la rejeter à l'extérieur.

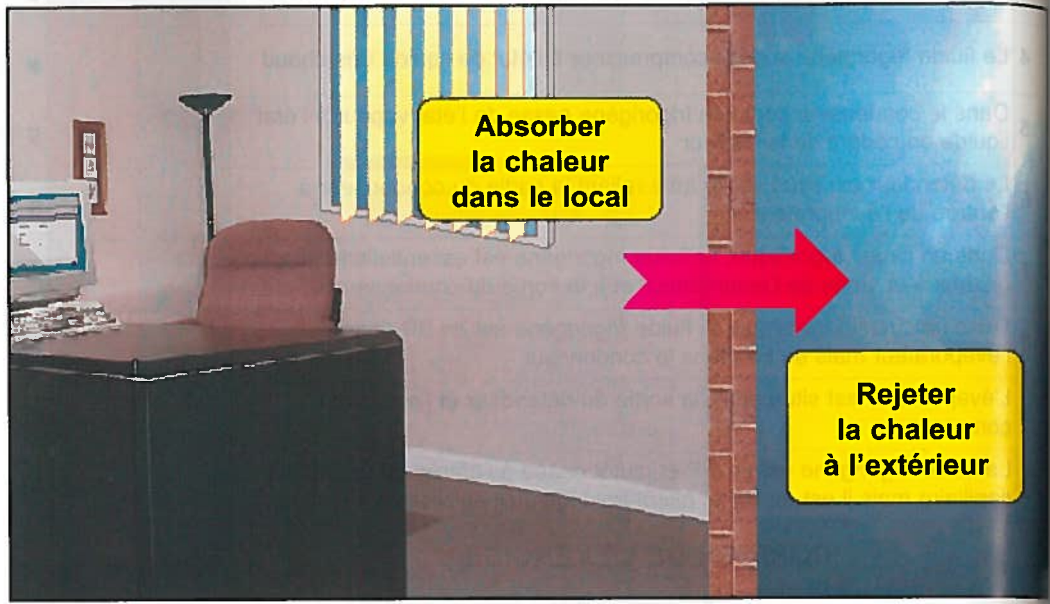
Si certaines choses ne vous semblent pas claires, n'hésitez pas à les réviser. Quand vous aurez bien compris cette première partie, nous pourrons poursuivre notre étude du circuit frigorifique de façon un peu plus approfondie.

	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°8 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX	
1	Dans l'évaporateur, le fluide frigorigène passe de l'état liquide à l'état vapeur en cédant de la chaleur			1
2	Plus la surface d'un échangeur thermique augmente et plus sa puissance augmente			2
3	Le fluide frigorigène qui sort de l'évaporateur est à l'état de vapeurs BP			3
4	Le fluide frigorigène sort du compresseur à l'état de liquide très chaud			4
5	Dans le condenseur, le fluide frigorigène passe de l'état vapeur à l'état liquide en cédant de la chaleur			5
6	Le détendeur est situé sur le tube reliant la sortie du condenseur à l'entrée de l'évaporateur			6
7	Dans un circuit frigorifique, le fluide frigorigène est essentiellement gazeux à la sortie de l'évaporateur et à la sortie du condenseur			7
8	Dans un circuit frigorifique, le fluide frigorigène est en BP dans l'évaporateur mais en HP dans le condenseur			8
9	L'évaporateur est situé entre la sortie du détendeur et l'entrée du compresseur			9
10	Le fluide frigorigène est en HP et plutôt chaud à l'entrée du détendeur capillaire mais il est en BP et plutôt froid lorsqu'il en ressort			10
	CORRIGÉ DE L'EXERCICE	VRAI	FAUX	

1 : Faux. S'il est exact que le fluide frigorigène passe de l'état liquide à l'état vapeur dans l'évaporateur, il ne cède pas de chaleur mais il en absorbe. - 2 : Vrai. C'est pourquoi le condenseur placé derrière le frigo (la grille noire) est aileté. - 3 : Vrai. Et ces vapeurs sont alors aspirées par le compresseur. - 4 : Faux. S'il est exact que le fluide frigorigène est très chaud à la sortie du compresseur, il n'est pas à l'état liquide mais à l'état vapeurs (nous verrons par la suite que les compresseurs n'aiment pas du tout les liquides autre que l'huile qui assure leur lubrification). - 5 : Vrai. - 6 : Vrai. - 7 : Faux.. S'il est exact que le fluide frigorigène est essentiellement gazeux à la sortie de l'évaporateur, c'est absolument faux en ce qui concerne la sortie du condenseur (le fluide est alors à 100% à l'état liquide). - 8 : Vrai. - 9 : Vrai. Habituez-vous à bien maîtriser l'emplacement des 4 éléments essentiels du circuit - 10 : Vrai. C'est absolument exact. C'est le rôle du détendeur d'abaisser la pression et la température du fluide qui le traverse.

DU RÉFRIGÉRATEUR AU CLIMATISEUR

Le principal rôle d'un climatiseur est de maintenir une température agréable dans un local en combattant les apports thermiques dus aux personnes, à l'éclairage, au soleil, aux machines, etc.



Une température agréable permet d'augmenter la fréquentation des commerces, l'accroissement du rendement dans les bureaux, etc.

Attention, si vous souhaitez climatiser votre chambre à coucher, il est bon de savoir que les éleveurs de lapins qui climatisent leur élevage améliorent la reproduction !!!

Le rôle d'un climatiseur est bien d'apporter du confort, d'où l'appellation " climatisation de confort ". Il ne faut pas confondre " clim de confort " et conditionnement d'air. Ce sont deux choses différentes. En conditionnement d'air, contrairement à la climatisation, le cahier des charges ne se préoccupe pas seulement de la température, mais aussi des problèmes liés à l'humidité et à la qualité de l'air (poussières, bactéries, etc.).

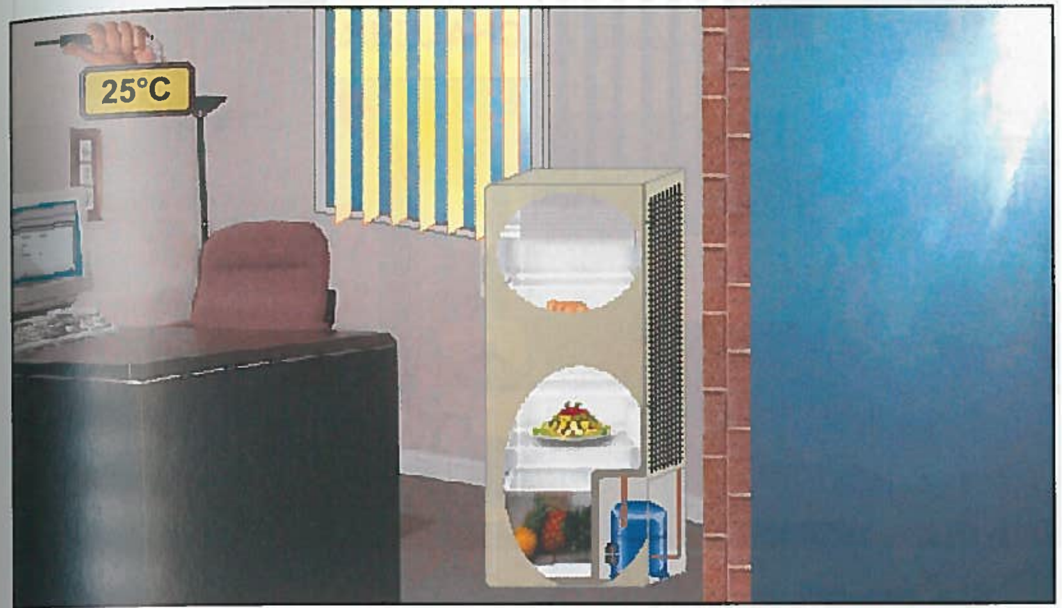
En ce qui nous concerne, nous laisserons de côté le conditionnement d'air pour nous intéresser uniquement à la climatisation de confort et au climatiseur traditionnel.

Notre objectif reste de comprendre comment fonctionne un climatiseur afin de pouvoir l'installer, en faire la mise en service et assurer sa maintenance dans les meilleures conditions.

Dans le chapitre précédent, nous avons étudié le fonctionnement d'un réfrigérateur. Nous avons vu que son rôle est d'absorber de la chaleur au niveau de l'évaporateur…

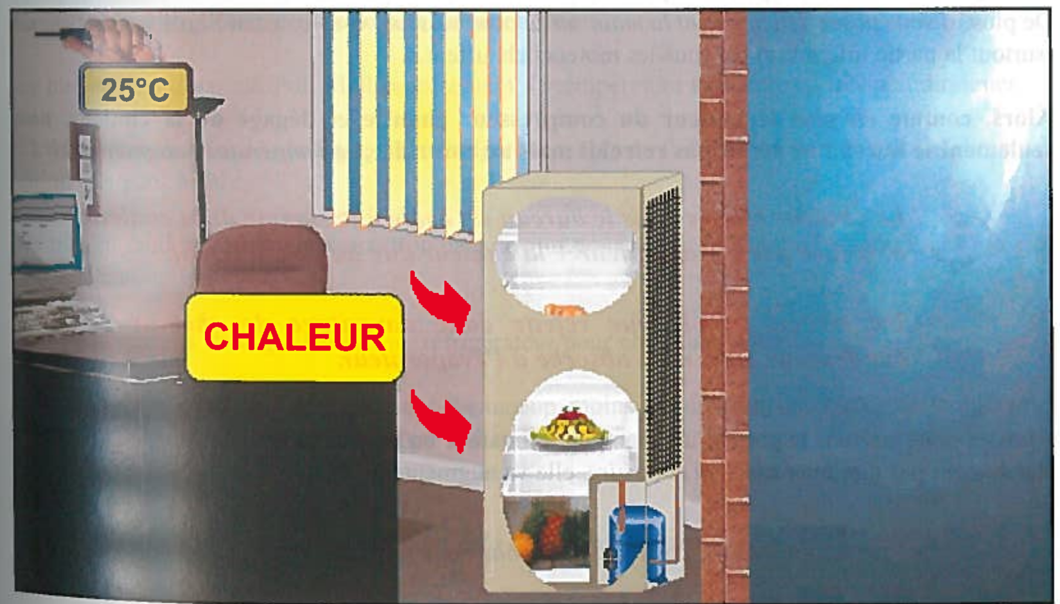
Alors, pour climatiser un bureau par exemple, ne pourrions-nous pas tout simplement utiliser un réfrigérateur en laissant sa porte ouverte ? A priori, si le frigo est capable de faire des glaçons, pourquoi ne pourrait-il pas maintenir une vingtaine de degrés dans un bureau ?

Réfléchissons un peu : si la température dans le bureau est de 25°C au moment où on ouvre la porte du frigo, que deviendrait cette température au bout d'une heure, par exemple ?



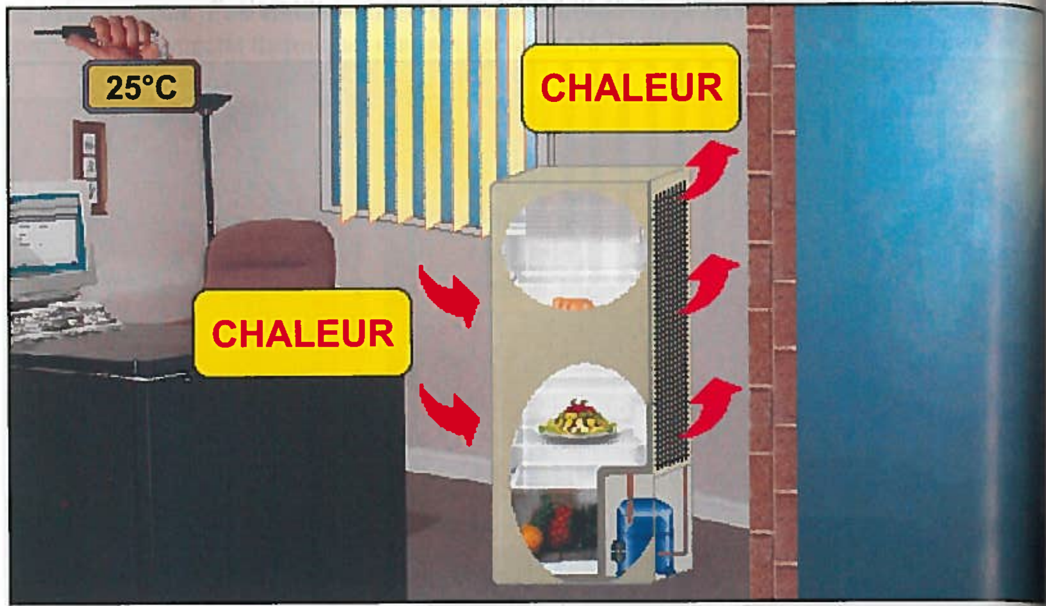
Vous avez le droit d'y réfléchir avant de continuer…

En ouvrant la porte du frigo, une partie de la chaleur du bureau va être absorbée par l'évaporateur : *sur l'avant du frigo, l'air va donc être refroidi…*



Ensuite, la chaleur absorbée à l'évaporateur va être véhiculée par le compresseur jusqu'au condenseur.

Comme celui-ci rejette de la chaleur, *l'air va donc se réchauffer sur l'arrière du frigo.*



Ainsi, l'air est refroidi devant le frigo mais réchauffé derrière : la chaleur absorbée par l'évaporateur est en effet intégralement rejetée au condenseur.

Comme ces deux éléments sont situés au même endroit, le bilan total serait nul et la température du bureau ne pourrait absolument pas diminuer.

De plus, *si vous posez délicatement la main sur le compresseur*, vous constatez qu'il *est très chaud* (surtout la partie inférieure) car tous les moteurs chauffent.

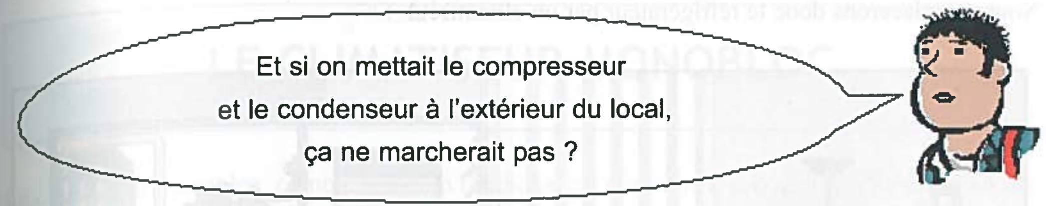
Alors, comme *en plus* le moteur du compresseur chauffe et dégage de la chaleur, non seulement le bureau ne serait pas refroidi mais au contraire, *sa température augmenterait !*

La chaleur rejetée dans le bureau est égale à la somme de la chaleur absorbée par l'évaporateur + la chaleur due au compresseur.

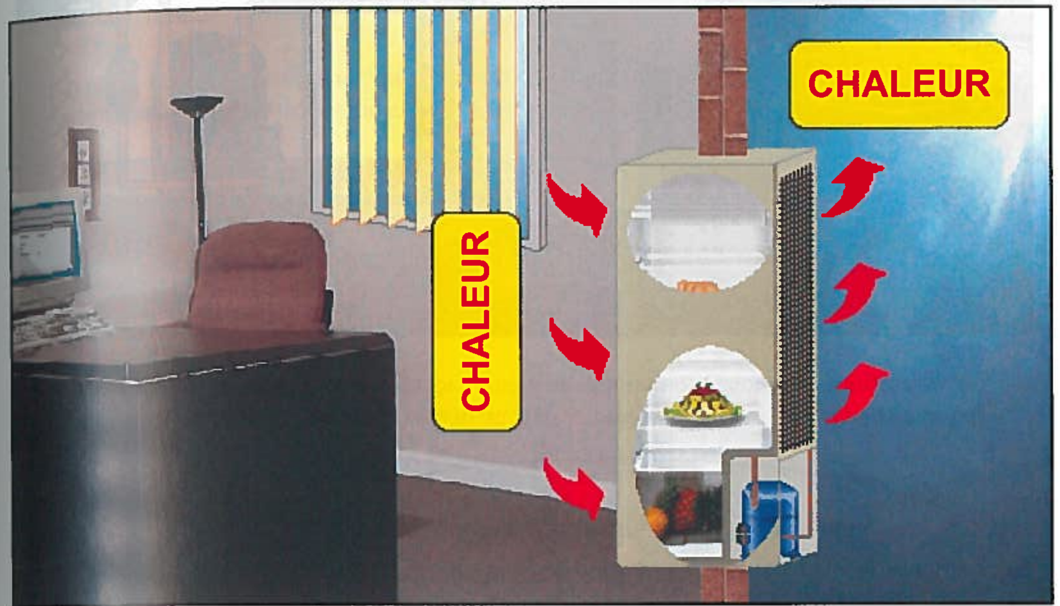
Un circuit frigorifique rejette donc davantage de chaleur au condenseur qu'il n'en absorbe à l'évaporateur.

Ainsi, si nous ouvrons la porte d'un frigo pour climatiser un bureau, la température du local ne va absolument pas diminuer mais *au contraire,* elle va augmenter.

Alors, comment pourrions-nous procéder ?



Pourquoi pas ! Que se passerait-il ?



A ce moment, la chaleur absorbée à l'intérieur du local par l'évaporateur va être rejetée à l'extérieur par le condenseur : cela semble fonctionner.

Le bureau sera donc refroidi. Malheureusement, la température ambiante va très peu diminuer.

En effet, la puissance frigorifique d'un réfrigérateur est très faible et ne permettrait de climatiser qu'un très petit local !

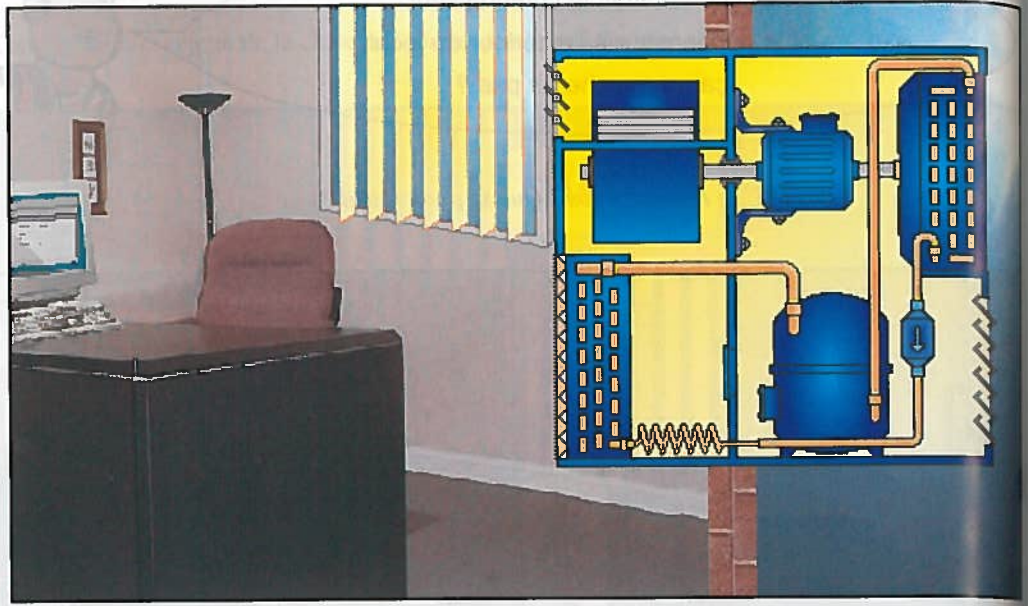
De plus, il faudrait faire un énorme trou dans le mur pour passer le frigo : il est peu vraisemblable que le client donne son accord !

Nous ne pourrons donc pas utiliser un réfrigérateur pour climatiser notre bureau.

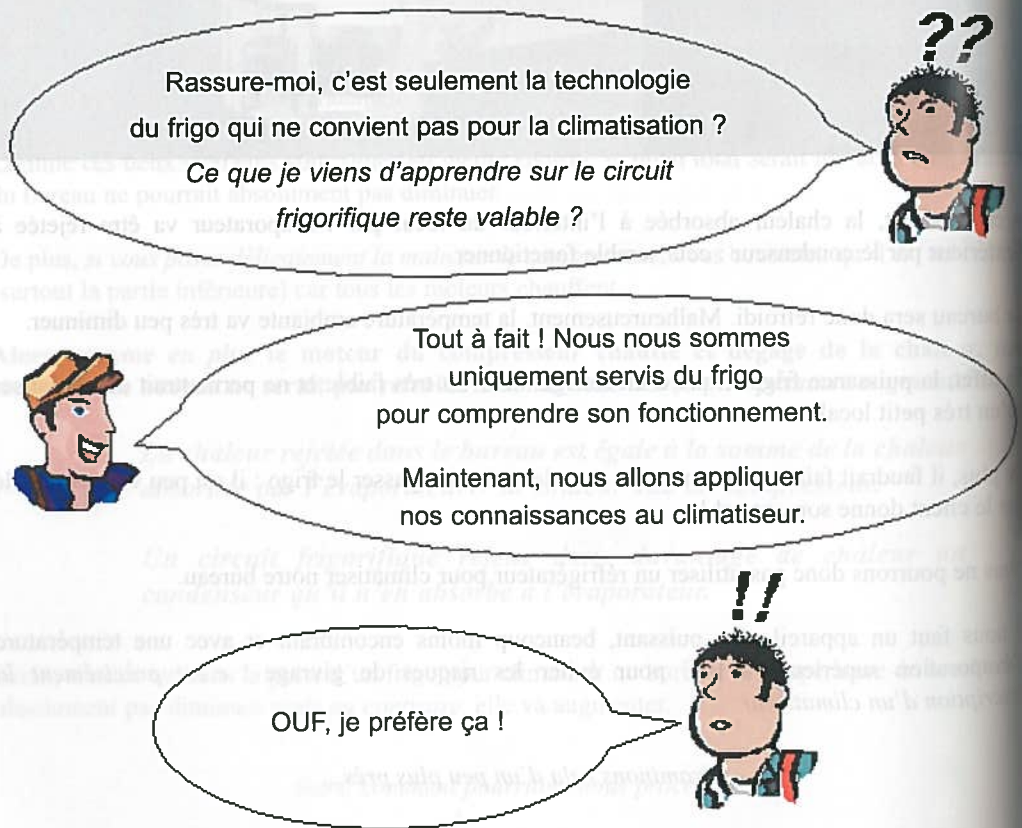
Il nous faut un appareil plus puissant, beaucoup moins encombrant et avec une température d'évaporation supérieure à 0°C pour éviter les risques de givrage : *c'est précisément la description d'un climatiseur.*

Examinons cela d'un peu plus près…

Nous remplacerons donc le réfrigérateur par un climatiseur :



Le cycle frigorifique fonctionne toujours de la même façon mais la technologie du réfrigérateur a été améliorée et adaptée. Nous allons étudier plus en détails cette technologie.

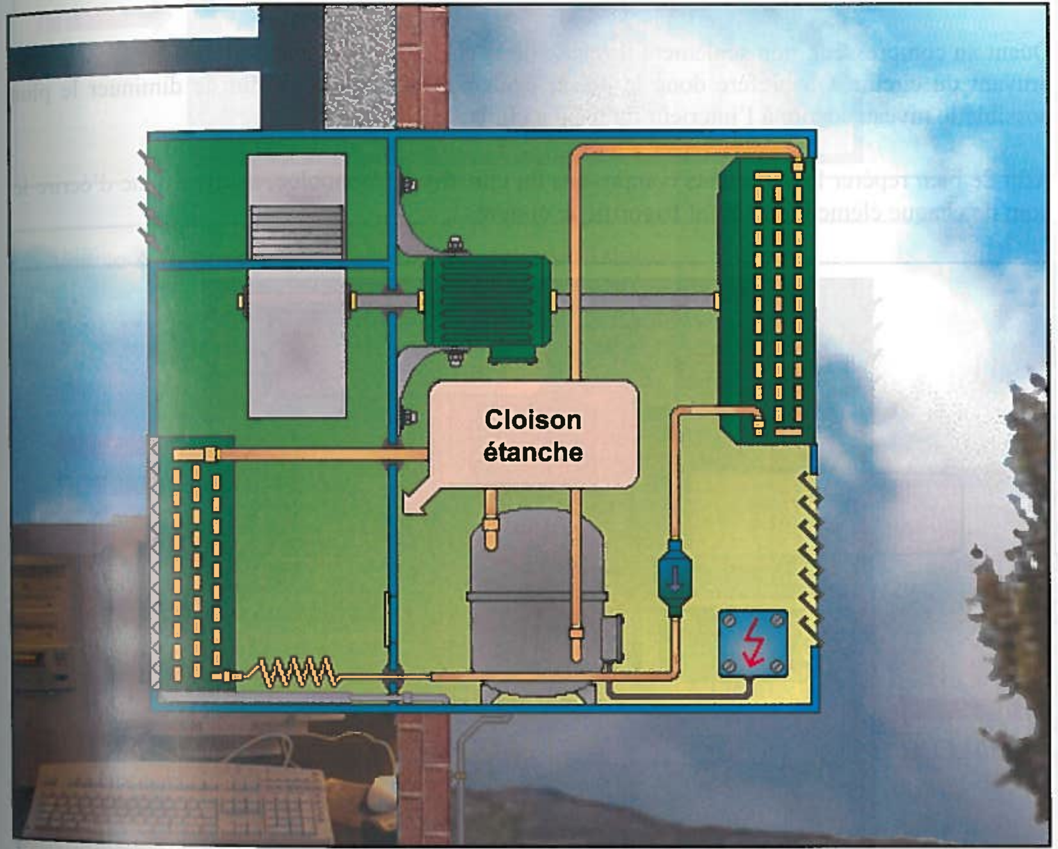


LE CLIMATISEUR MONOBLOC

Le climatiseur monobloc, comme son nom l'indique, est constitué d'une seule partie (ou d'un seul bloc). C'est un appareil jadis très utilisé, mais qui est un peu passé de mode. Il s'installait souvent au travers d'une fenêtre d'où son nom de *climatiseur window* (qui signifie *fenêtre* en anglais).

Vous en avez certainement déjà vus, installés au-dessus d'une porte de magasin, dans des bureaux, dans des hôtels, etc.

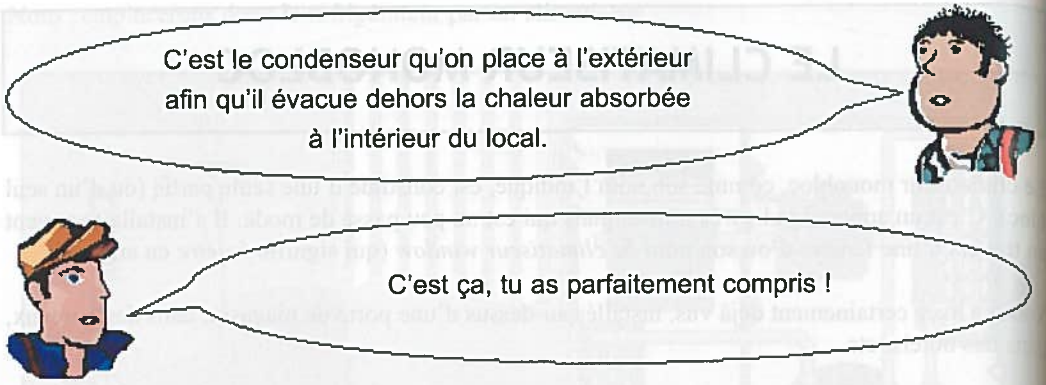
Vous pouvez constater ci-dessous qu'une partie du climatiseur se trouve *à l'intérieur* du local à climatiser, tandis que l'autre moitié est *à l'extérieur*.



Vous pouvez également remarquer que la partie intérieure du climatiseur est séparée de la partie extérieure par une cloison étanche.

A votre avis, pourquoi cette cloison ?

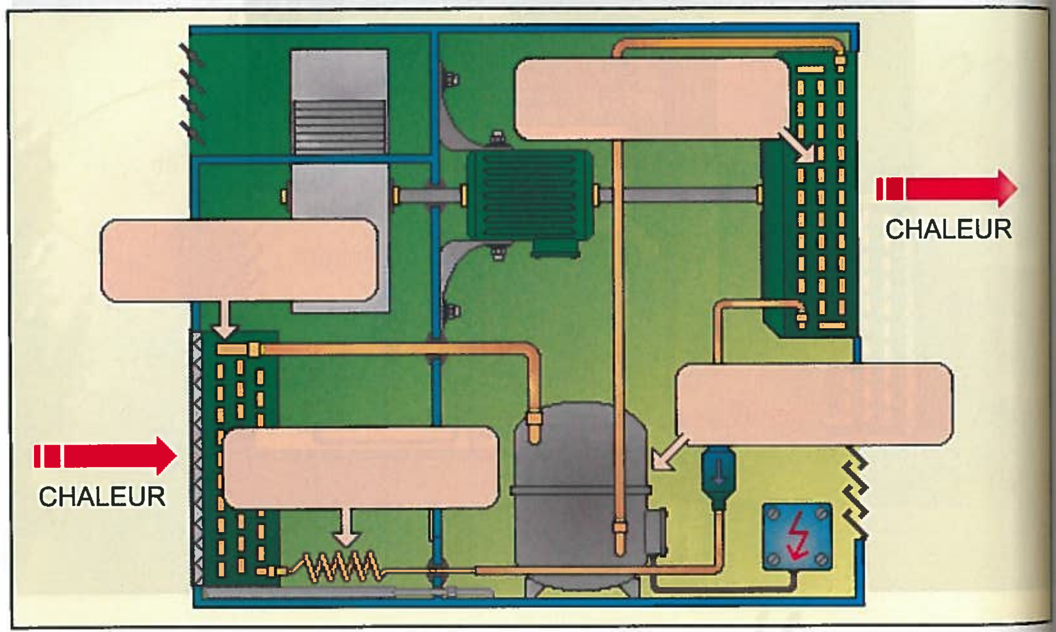
D'autre part, vous rappelez-vous quelle est la partie du climatiseur qui doit être placée à l'extérieur du local, et quelle en est la raison ?



Nous avons vu qu'un circuit frigorifique rejette plus de chaleur au condenseur qu'il n'en absorbe à l'évaporateur. Alors, si nous voulons refroidir un local, le condenseur doit obligatoirement être placé à l'extérieur de celui-ci.

Quant au compresseur, non seulement il rejette de la chaleur, mais en plus il est l'élément le plus bruyant du circuit. On préfère donc le placer également à l'extérieur afin de diminuer le plus possible le niveau sonore à l'intérieur du local à climatiser.

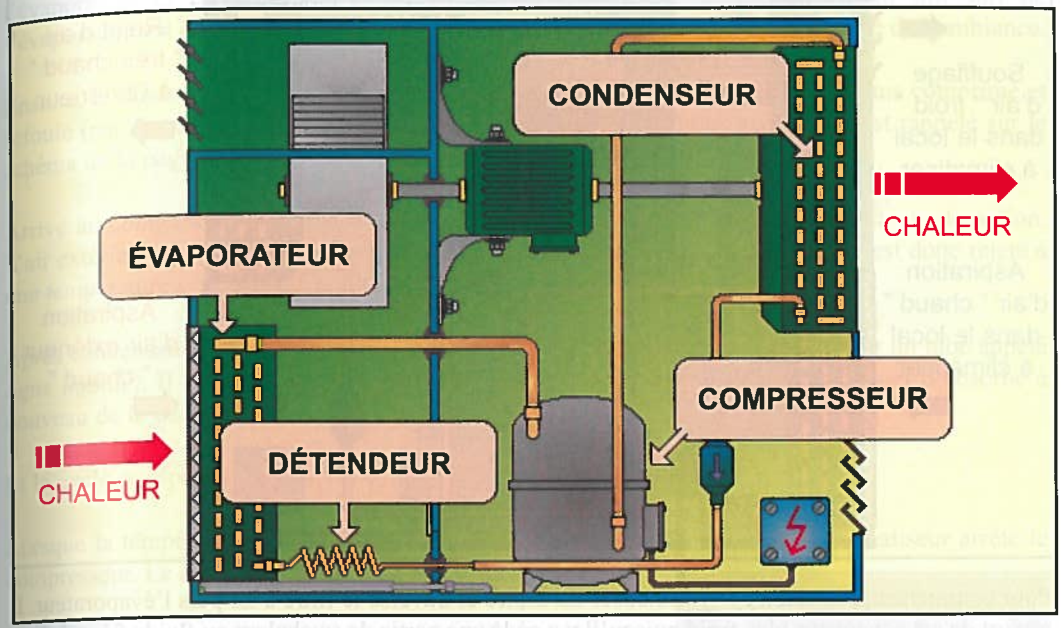
Afin de bien repérer les différents composants du climatiseur monobloc, essayez donc d'écrire le nom de chaque élément du circuit frigorifique ci-après :

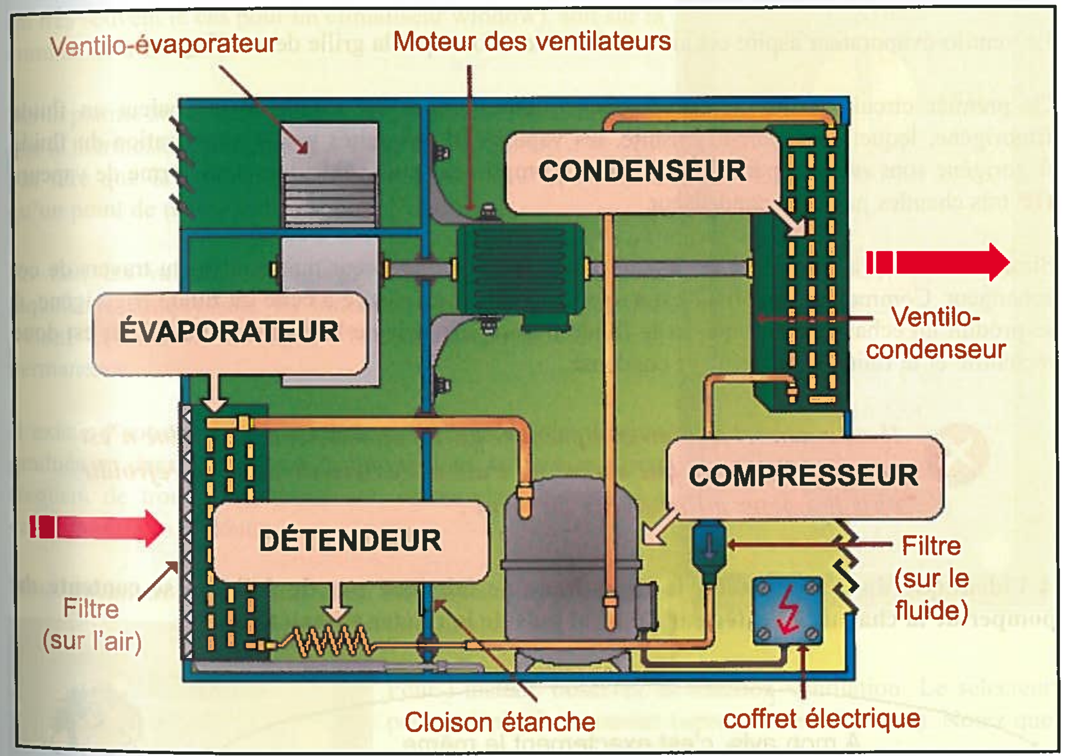


Sur un climatiseur de ce type, il y a les mêmes appareils que dans notre réfrigérateur. Mais il y a aussi quelques composants supplémentaires.

Alors, essayez de repérer les filtres (il y en a un sur le circuit frigorifique et un sur l'air), les ventilateurs, le moteur qui fait tourner les ventilateurs et la séparation qui empêche tout mélange indésirable entre l'air extérieur et l'air intérieur...

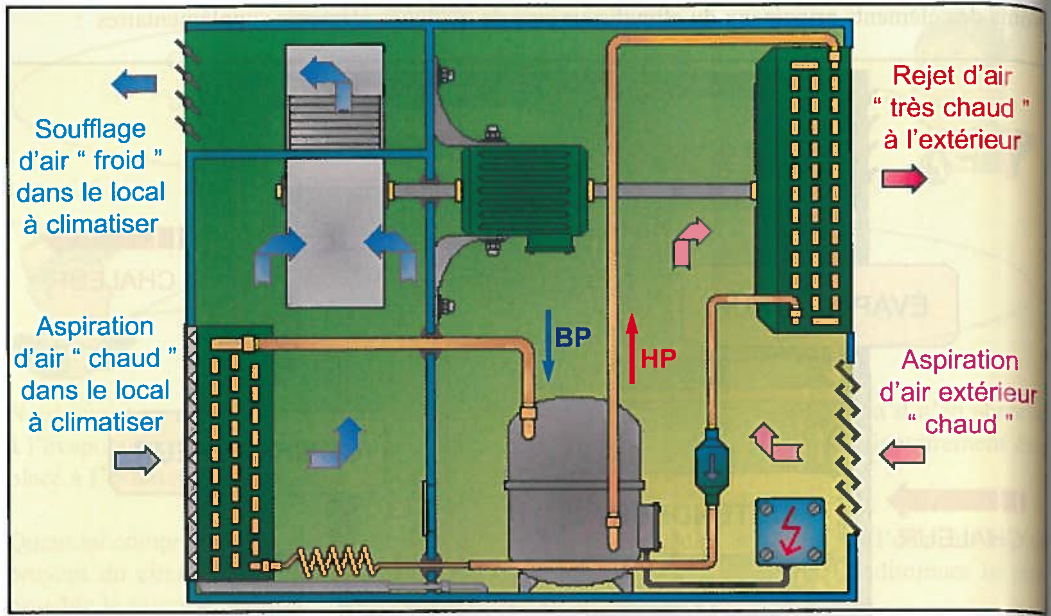
Noms des éléments principaux du climatiseur puis de quelques éléments supplémentaires :





Il est important de comprendre que la cloison étanche empêche la communication entre l'air extérieur et l'air intérieur.

A propos, voyez-vous comment circule l'air dans l'appareil ?



Pour commencer, l'air du local à climatiser est aspiré et traverse le filtre à air puis l'évaporateur. Il ressort de cet échangeur plus froid puisqu'il y a cédé une partie de sa chaleur au fluide frigorigène.

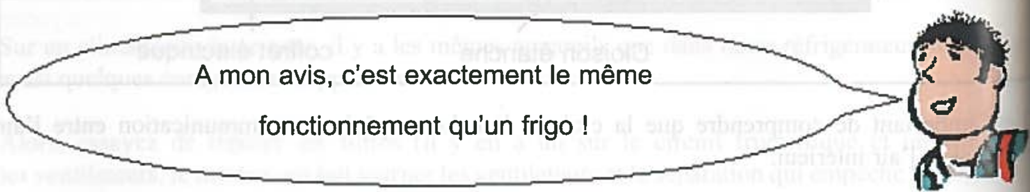
Le ventilo-évaporateur aspire cet air refroidi et le refoule par la grille de soufflage.

Ce premier circuit permet à l'air du local d'être refroidi en cédant de la chaleur au fluide frigorigène, lequel se vaporise. Ensuite, les vapeurs BP produites par la vaporisation du fluide frigorigène sont aspirées par le compresseur, comprimées puis véhiculées sous forme de vapeurs **HP** très chaudes jusqu'au condenseur.

Simultanément, l'air extérieur est aspiré par le ventilo-condenseur puis soufflé au travers de cet échangeur. Comme l'air extérieur est à une température inférieure à celle du fluide frigorigène, il se produit un échange thermique et le fluide frigorigène cède de la chaleur à l'air. L'air est donc réchauffé et le fluide frigorigène se condense.

Il est essentiel de bien comprendre qu'un climatiseur monobloc n'est pas une machine qui aspire de l'air à l'extérieur pour le refroidir puis le rejeter à l'intérieur du local !

A l'identique du réfrigérateur, le climatiseur ne fabrique pas de froid. Il se contente de pomper de la chaleur à l'intérieur du local puis de la rejeter à l'extérieur.



En effet, le fonctionnement est identique à celui d'un réfrigérateur. L'air chaud arrive sur l'évaporateur et cède sa chaleur au fluide frigorigène qui se vaporise. L'air qui sort de l'évaporateur est donc soufflé dans le local à une température bien inférieure à celle de l'ambiance.

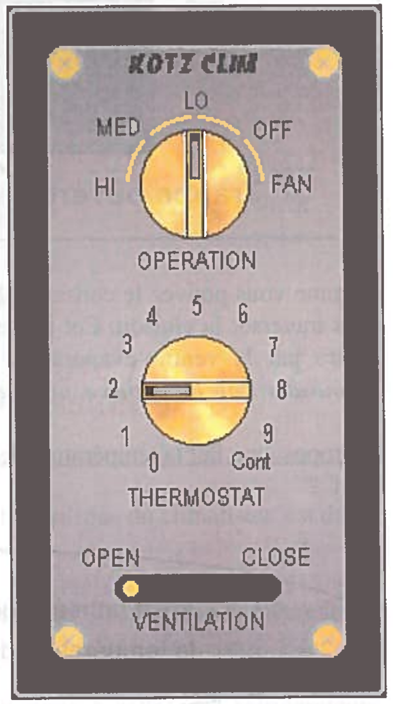
Ensuite, le fluide vaporisé est aspiré (par *le tube d'aspiration* du compresseur), puis comprimé et refoulé (par *le tube de refoulement*) vers le condenseur (le nom des tuyauteries est rappelé sur le schéma de la page suivante).

Arrivé au condenseur, le fluide est refroidi par l'air extérieur, ce qui provoque sa condensation. L'air extérieur qui passe sur le condenseur absorbe la chaleur de condensation et est donc rejeté à une température supérieure à la température ambiante.

Après condensation, le frigorigène liquide (en HP) est acheminé au détendeur (par un tube appelé *ligne liquide*). Il est alors détendu puis il arrive à l'évaporateur (en BP) dans lequel il absorbe à nouveau de la chaleur.

Et le cycle se répète ainsi jusqu'à obtenir la température ambiante désirée.

Lorsque la température souhaitée est atteinte dans le local, le thermostat du climatiseur arrête le compresseur. Le cycle frigorifique est alors interrompu.



Le thermostat se trouve soit directement sur l'appareil (ce qui est très souvent le cas pour un climatiseur window), soit sur la commande à distance.

Sur la platine de commande ci-contre, nous voyons clairement que le thermostat est réglé sur 2. Bien sûr, le numéro 2 ne veut pas dire que la température souhaitée est de 2°C, ce n'est qu'un point de repère indicatif pour l'utilisateur.

En fait, les valeurs de réglage vont de 0, position dans laquelle le compresseur ne fonctionne jamais, à la position " Cont " (continu), sur laquelle le compresseur fonctionne en permanence.

Il existe d'autres thermostats avec une plage de température graduée en degrés mais, sur les monoblocs de fenêtre, il est fréquent de trouver un thermostat ressemblant beaucoup à celui du croquis ci-contre.

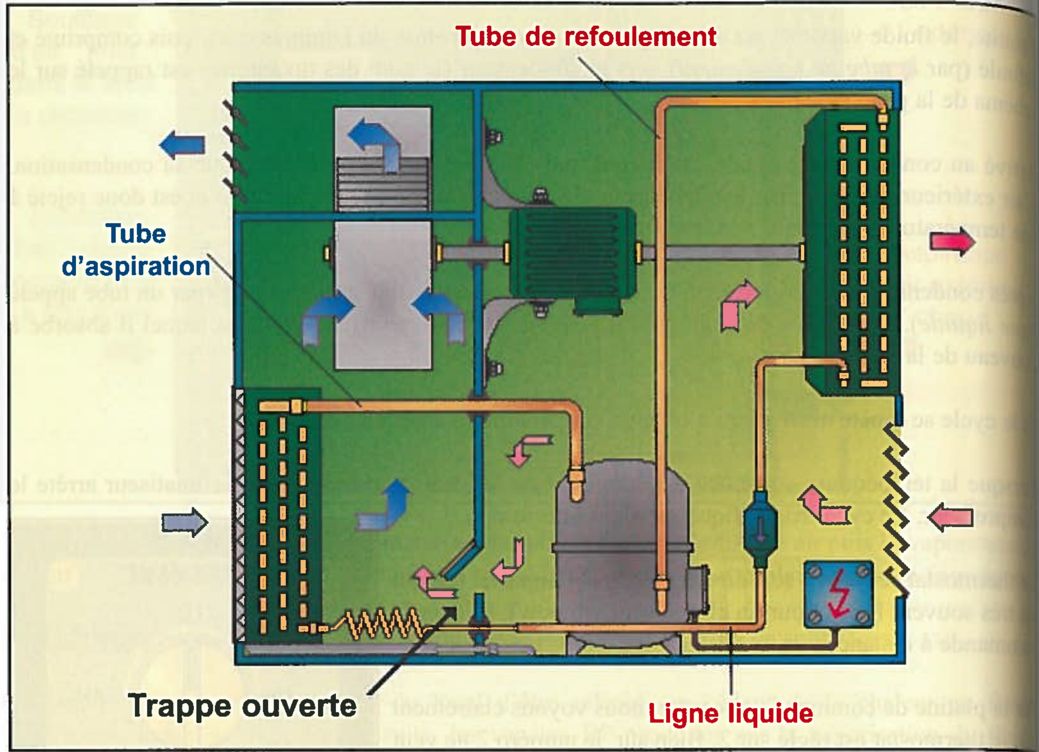
Nous travaillerons sur l'utilisation du panneau de commande un peu plus tard.



Pour l'instant, observez la fonction ventilation. Le sélecteur peut être placé sur ouvert (open) ou fermé (close). Notez que ce sélecteur ne commande absolument pas la mise en route du moteur des ventilateurs.

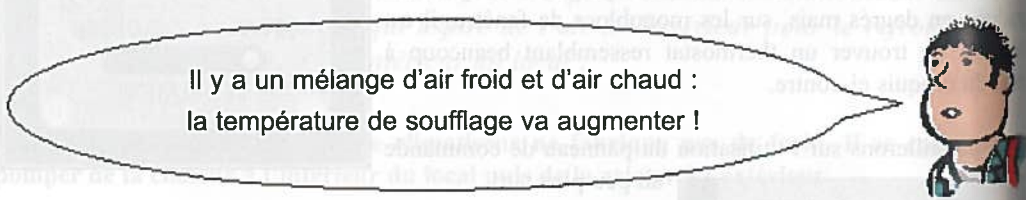
Quelle peut bien être son utilité ?

Sur un climatiseur window, il y a la possibilité d'apporter un peu d'air neuf (air extérieur) à l'intérie
du local à climatiser par l'ouverture d'une petite trappe située sur la cloison de séparation.



Comme vous pouvez le constater, lorsque la trappe est ouverte une petite partie de l'air extérie
peut traverser la cloison. Cet air se mélange alors avec celui qui sort de l'évaporateur puis il e
aspiré par le ventilo-évaporateur et soufflé dans le local. *Cet apport d'air neuf permet d*
renouveler l'air de la pièce, un peu comme si on entrebâillait une fenêtre.

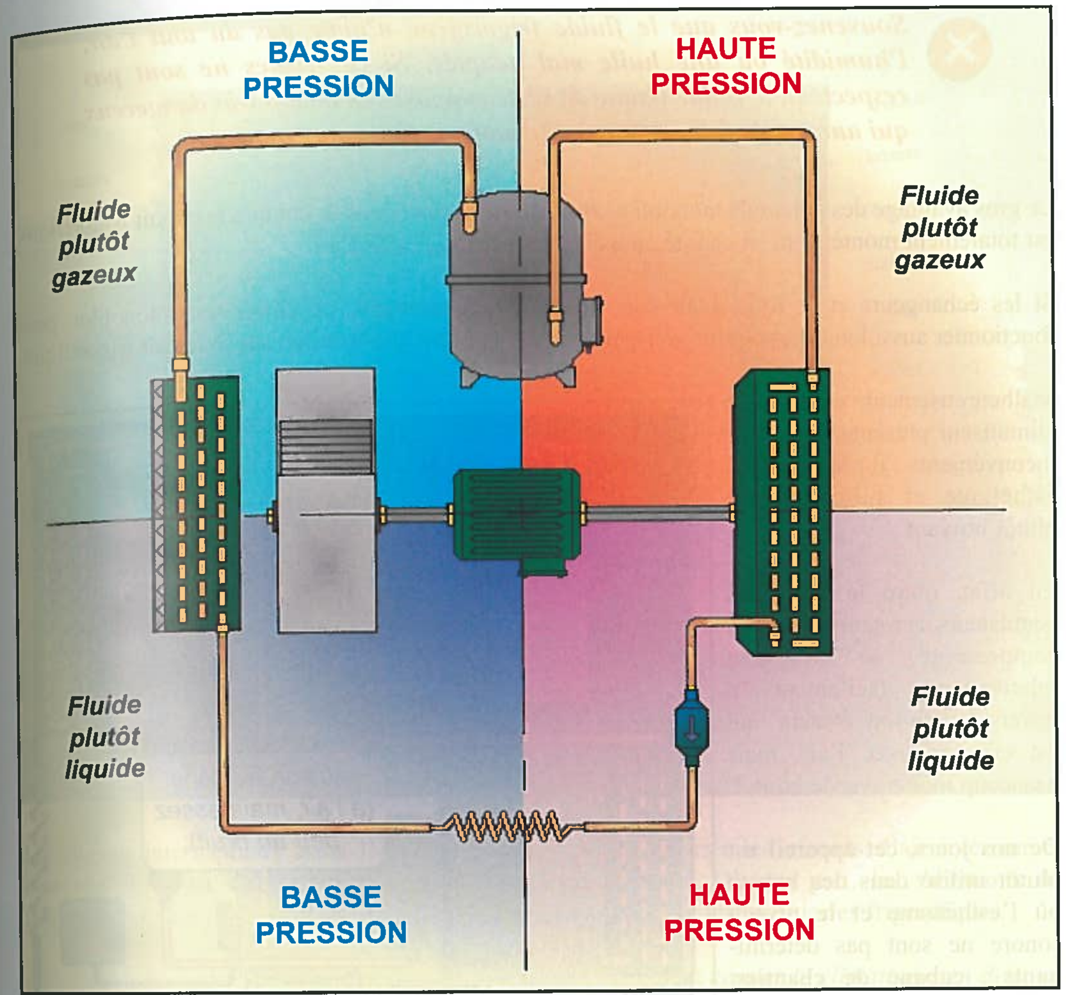
A propos, que fait la température de soufflage à l'intérieur du local lorsque l'on ouvre le volet d'ai
neuf ?



Effectivement, l'air extérieur est bien plus chaud que l'air refroidi par l'évaporateur : la températu
de soufflage va donc augmenter. Alors, si un climatiseur manque un peu de puissance po
climatiser un local, il est préférable de ne pas laisser la trappe d'air neuf ouverte en permanence.

Maintenant, il est temps de se souvenir de ce que nous avons appris sur le fonctionnement d'u
réfrigérateur pour l'appliquer au circuit frigorifique du climatiseur.

Si la technologie du climatiseur est un peu différente de celle d'un réfrigérateur traditionnel, le fonctionnement du circuit frigorifique reste rigoureusement identique.



Exactement comme pour le réfrigérateur vu *page 99*, le circuit frigorifique du climatiseur est divisé en quatre grandes parties : BP, HP, plutôt liquide ou plutôt gazeux.

Nous pouvons constater que la différence vient surtout des échangeurs. Ils n'ont pas la même forme et ils sont tous les deux équipés d'un ventilateur.

Les puissances frigorifiques des climatiseurs sont bien supérieures à celles des réfrigérateurs. Aussi, pour ne pas avoir des appareils trop encombrants, on optimise l'échange thermique en augmentant le débit d'air : c'est le rôle des ventilateurs.

Il ne faut pas oublier que nous faisons de la climatisation de confort et que cela passe aussi par l'esthétisme. Il est donc primordial qu'un climatiseur soit le moins encombrant et le plus discret possible. Pour caricaturer, nos clients n'investissent généralement pas dans un climatiseur pour rendre jaloux leur entourage : *ils ont leur voiture pour ça !*

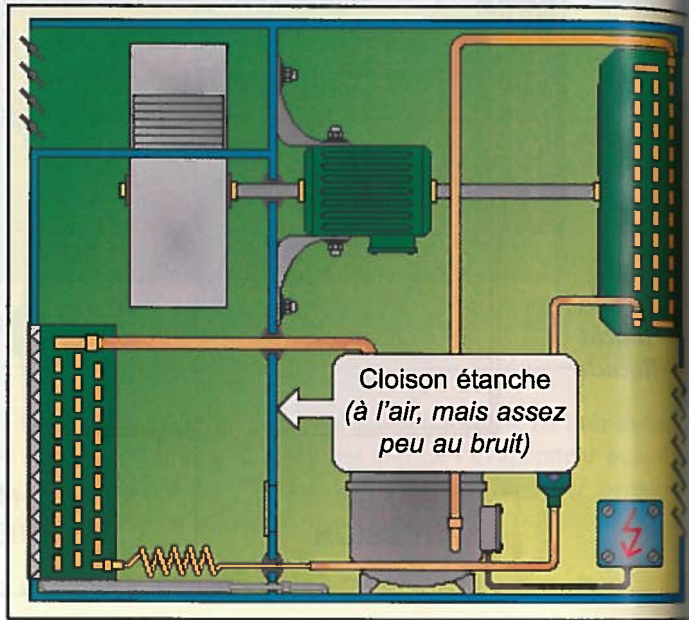
Nous avons déjà dit que le fluide frigorigène ne s'use jamais. Cela n'est exact que dans l'hypothè
où l'on respecte certaines règles.

Souvenez-vous que le fluide frigorigène n'aime pas du tout l'air, l'humidité ou une huile mal adaptée. Si ces règles ne sont pas respectées, le fluide risque de se décomposer en acides très dangereux qui auront tôt fait de détruire le moteur du compresseur !

Le gros avantage des appareils monoblocs réside précisément dans le fait que le circuit frigorifiq
est totalement monté, testé et chargé en usine, dans les règles de l'art.

Si les échangeurs et le filtre à air sont nettoyés régulièrement, un climatiseur monobloc pe
fonctionner aussi longtemps qu'un réfrigérateur, sans aucune intervention sur le circuit frigorifiqu

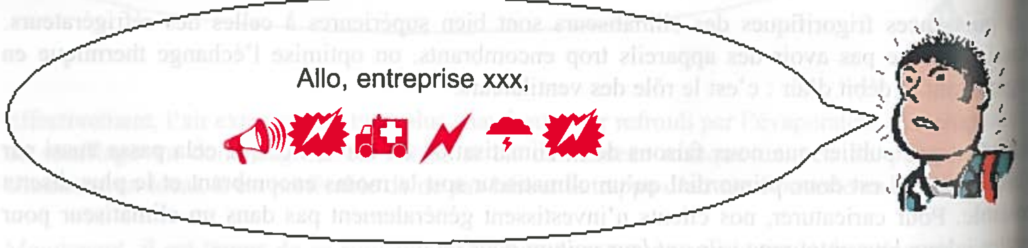
Malheureusement, ce type de climatiseur présente deux gros inconvénients : il n'est pas très esthétique et surtout il est plutôt bruyant.



En effet, outre le bruit des ventilateurs, le ronronnement du compresseur se transmet relativement facilement à travers la cloison étanche qui est efficace avec l'air, mais beaucoup moins avec le bruit !

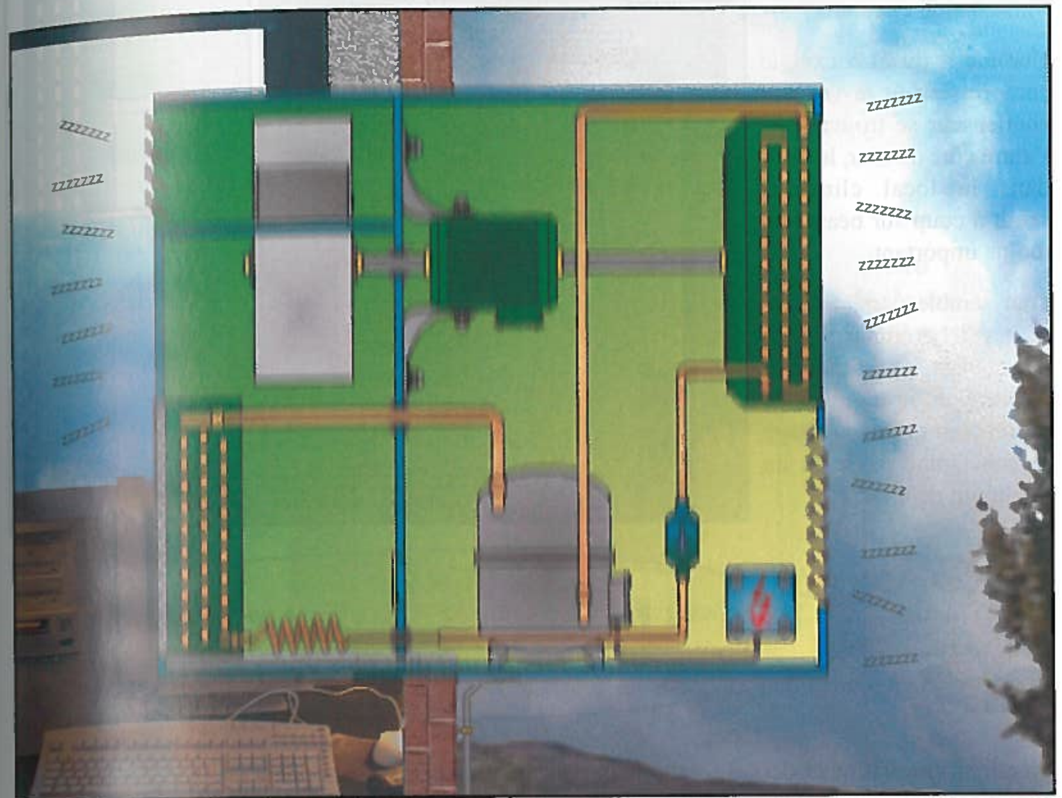
De nos jours, cet appareil est plutôt utilisé dans des locaux où l'esthétisme et le niveau sonore ne sont pas déterminants : cabane de chantier, cabine de péage, motel, etc.

Cependant, dans la majorité des cas, le bruit engendré par l'appareil est un critère déterminan
Imaginez que votre client vienne d'investir dans un climatiseur pour ne plus avoir chaud la nuit e
enfin pouvoir dormir. Très bien, il n'a plus chaud, mais il ne dort toujours pas car l'appareil est tro
bruyant. A votre avis quelle sera sa réaction ?



Que pourrait-on faire pour éviter ce genre de problème ?

Le bruit est généré par les ventilateurs et par le compresseur. Pour diminuer ces nuisances sonores, il faut éloigner les composants bruyants et les sources de vibration du local à climatiser.

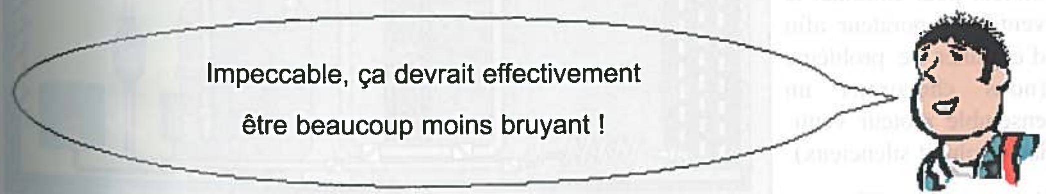


La cloison intermédiaire dans l'appareil a pour rôle de séparer les circuits d'air intérieur et extérieur. Elle est étanche à l'air, mais assez peu au bruit. D'autre part, les vibrations du compresseur sont transmises par le châssis du climatiseur et par les tuyauteries frigorifiques.

Alors, pour améliorer notre appareil, pourquoi ne pas carrément *couper le climatiseur en deux* au niveau de cette cloison ?

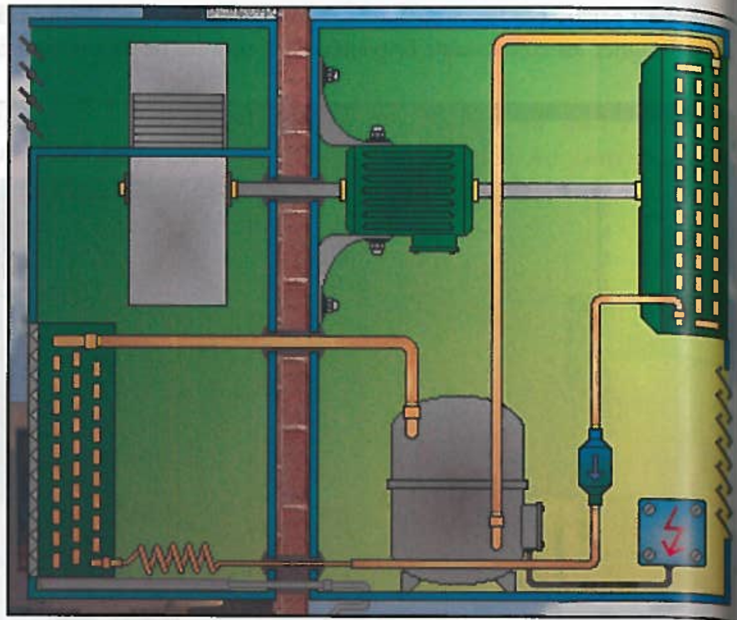
De cette façon, on pourrait installer le compresseur et le ventilateur du condenseur de l'autre côté du mur, ce qui permettrait de bien mieux éliminer les bruits parasites.

Bien sûr, le ventilateur de l'évaporateur doit rester à l'intérieur du local, mais ce n'est pas trop gênant car c'est le plus silencieux.



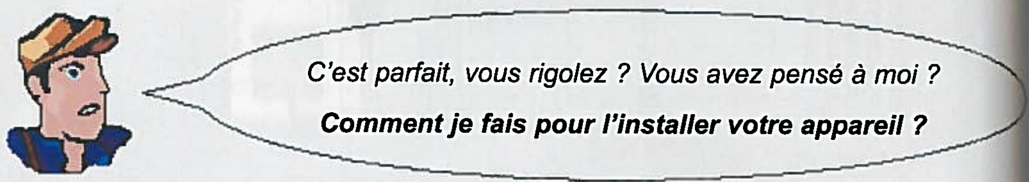
Et vous, qu'en pensez-vous ?

Pour répondre au problème posé, que penseriez-vous de l'installation ci-contre ?

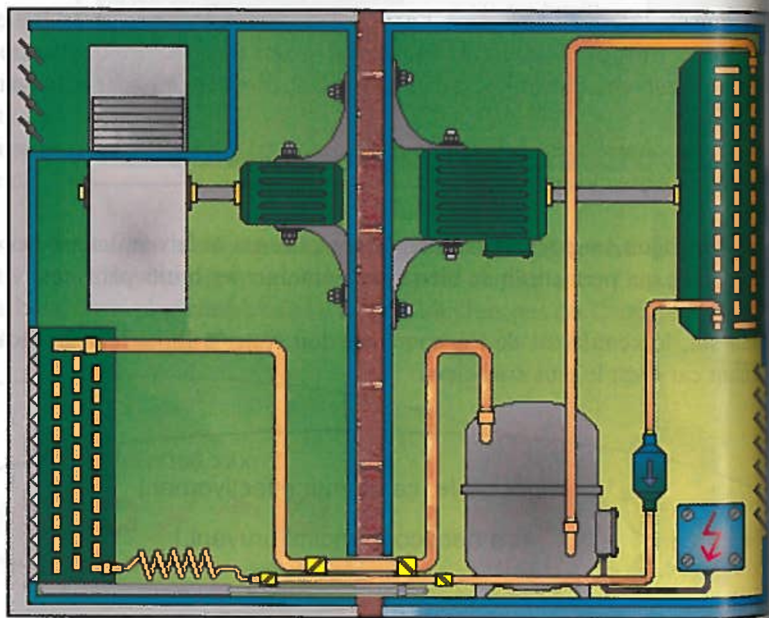


Comme le disait Alexis, le compresseur et le ventilo-condenseur se trouvant de l'autre côté du mur, le bruit dans le local climatisé serait à coup sûr beaucoup moins important.

Tout semble correct n'est-ce pas ? Le circuit frigorifique est parfaitement respecté et il n'y aucune raison pour que ce montage ne fonctionne pas avec un minimum de bruit !



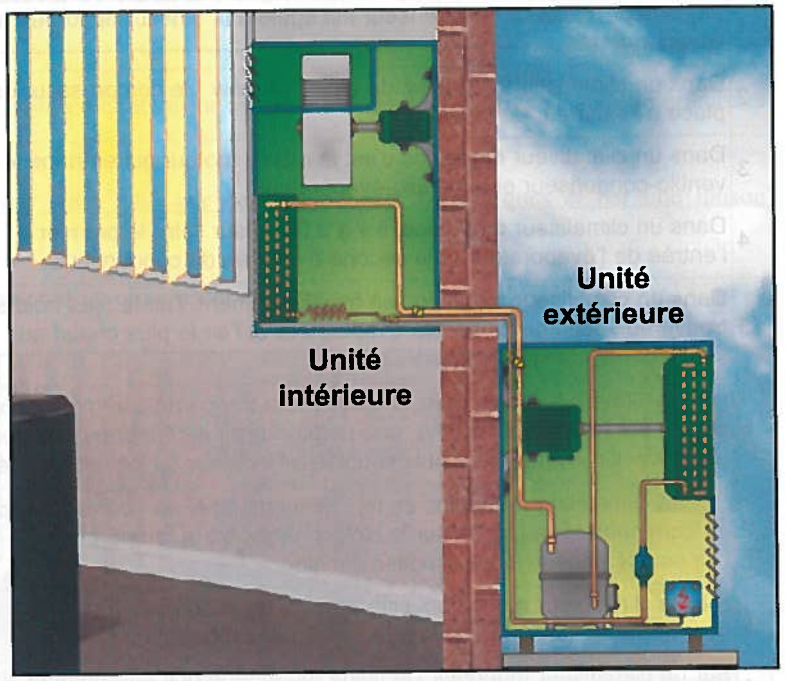
En effet l'installation ci-dessus serait plutôt délicate. Le ventilo-évaporateur est bien dans la pièce à climatiser mais son moteur est à l'extérieur et l'arbre doit traverser le mur ! Lors du montage, si nous voulons avoir une chance de voir les ventilateurs tourner, il faudra que la partie intérieure et la partie extérieure du climatiseur soient parfaitement alignées. *Le montage ne serait vraiment pas très pratique !*



En fait il suffirait de rajouter un second moteur pour entraîner le ventilo-évaporateur afin d'éliminer ce problème (nous choisirons un ensemble moteur ventilateur plutôt silencieux).

Avec cette modification, nous venons de transformer notre climatiseur monobloc initial en climatiseur “ bi-bloc ”...

Un bloc sera situé *à l'intérieur* du local à climatiser, dans lequel on trouvera l'évaporateur, son ventilateur et son moteur.



Ce bloc s'appelle l'unité intérieure.

Un second bloc sera situé *à l'extérieur* du local à climatiser, dans lequel on trouvera le condenseur, son ventilateur et son moteur ainsi que le compresseur.

Ce bloc s'appelle l'unité extérieure, mais on l'appelle également le groupe de condensation (puisque son rôle est de condenser le fluide frigorigène).

Nous pouvons constater sur le croquis ci-dessus qu'en coupant le climatiseur en deux, la partie extérieure n'est pas obligatoirement installée juste derrière la partie intérieure.

En effet, les deux parties étant reliées par des tuyauteries, elles peuvent tout à fait se situer à des niveaux différents.

Un climatiseur de ce type, composé de 2 unités distinctes, est appelé climatiseur split-système.

Notez au passage que le détendeur capillaire se trouve ici dans l'unité intérieure mais qu'on peut parfois le trouver dans l'unité extérieure.

Pour des climatiseurs de petite puissance frigorifique, conçus par exemple pour climatiser une chambre à coucher, les fabricants préfèrent souvent placer le détendeur dans l'unité extérieure. Ainsi, les occupants n'entendent pas le détendeur siffler au démarrage ou à l'arrêt du compresseur.

	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°9 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX
1	La chaleur rejetée au condenseur est égale à la chaleur absorbée à l'évaporateur.		
2	Dans un climatiseur monobloc de type " window " le compresseur est placé à l'extérieur du local.		
3	Dans un climatiseur monobloc c'est le même moteur qui entraîne le ventilo-condenseur et le ventilo-évaporateur.		
4	Dans un climatiseur monobloc, il y a 2 filtres sur l'air : le premier à l'entrée de l'évaporateur et le second à l'entrée du condenseur.		
5	Dans un climatiseur monobloc en fonctionnement, l'air le plus froid se trouve au soufflage du ventilo-évaporateur et l'air le plus chaud au soufflage du ventilo- condenseur.		
6	Sur un climatiseur monobloc, si on ouvre la trappe de communication placée sur la cloison étanche, une partie de l'air extérieur est aspirée par le ventilo-évaporateur puis soufflée à l'intérieur du local climatisé.		
7	Sur un climatiseur monobloc en fonctionnement, si on ouvre la trappe de communication placée sur la cloison étanche, la température de l'air soufflé dans le local climatisé diminue.		
8	Sur un climatiseur monobloc, si le thermostat est réglé sur 5 et qu'il fait trop chaud en ambiance, il faut le régler par exemple sur 6 ou 7.		
9	Sur un climatiseur monobloc, le fluide frigorigène doit être changé régulièrement.		

CORRIGÉ DE L'EXERCICE

1	2	3	4	5	6	7	8	9
FAUX	VRAI	VRAI	FAUX	VRAI	VRAI	FAUX	VRAI	FAUX

1 : Faux. La chaleur rejetée au condenseur est égale à la somme de la chaleur absorbée à l'évaporateur + la chaleur due au moteur du compresseur. - 2 : Vrai. Cela permet de réduire le niveau sonore à l'intérieur du local climatisé. - 3 : Vrai. - 4 : Faux. Il n'y a jamais de filtre sur l'air au condenseur. En effet, le condenseur étant balayé en permanence par de l'air extérieur, un filtre s'encrasserait très rapidement et nécessiterait un nettoyage beaucoup trop souvent. - 5 : Vrai. - 6 : Vrai. Et cela provoque une augmentation de la température de soufflage à l'intérieur du local climatisé - 7 : Faux. Si le climatiseur fonctionne, c'est généralement parce qu'il fait chaud à l'extérieur et l'ouverture de la trappe provoque alors au contraire une augmentation de la température de soufflage dans le local climatisé. - 8 : Vrai. Sur la position 0 le compresseur ne démarre jamais et plus le chiffre affiché est élevé plus la température ambiante sera faible - 9 : Faux. Le fluide frigorigène ne s'use jamais si l'appareil est régulièrement entretenu.

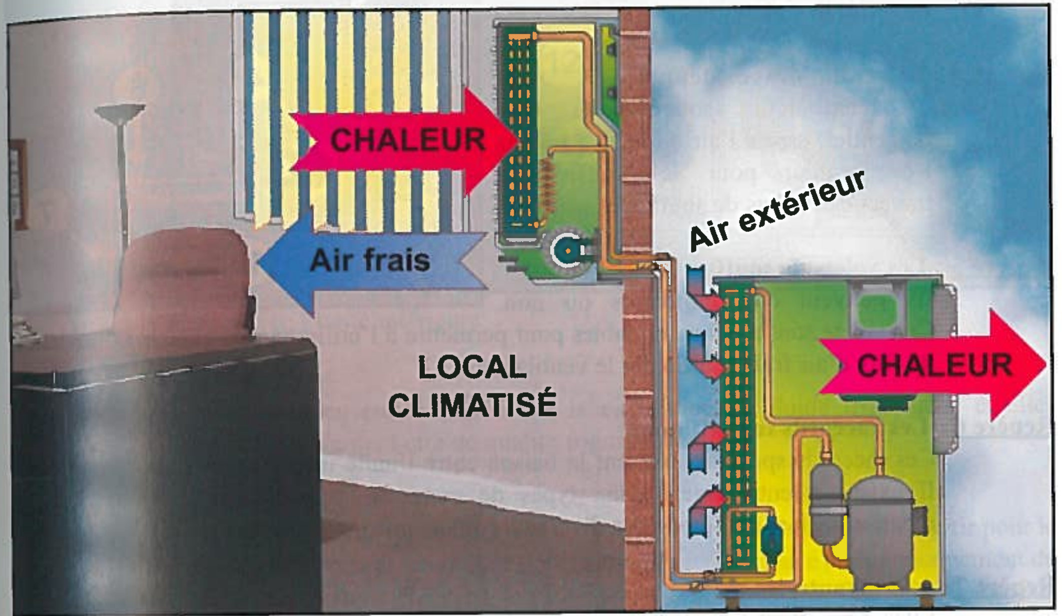
Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

LE CLIMATISEUR SPLIT SYSTÈME

Comme nous venons de le voir, ce climatiseur est constitué de deux parties : l'unité intérieure et l'unité extérieure.

Ces deux unités sont reliées entre elles par deux tuyauteries frigorifiques et par une liaison électrique.

Voici un exemple d'installation d'un climatiseur split-système :



Comme le climatiseur monobloc, le split système évacue la chaleur du local à climatiser par l'intermédiaire de trois circuits : *un circuit frigorifique et deux circuits d'air.*

Le split-système " froid seul " (c'est-à-dire qu'il n'est utilisé qu'en été pour rafraîchir un local) est le climatiseur le plus simple. Nous allons donc lui consacrer l'essentiel de notre apprentissage : fonctionnement, technologie, installation, mise en route, entretien et dépannages simples.

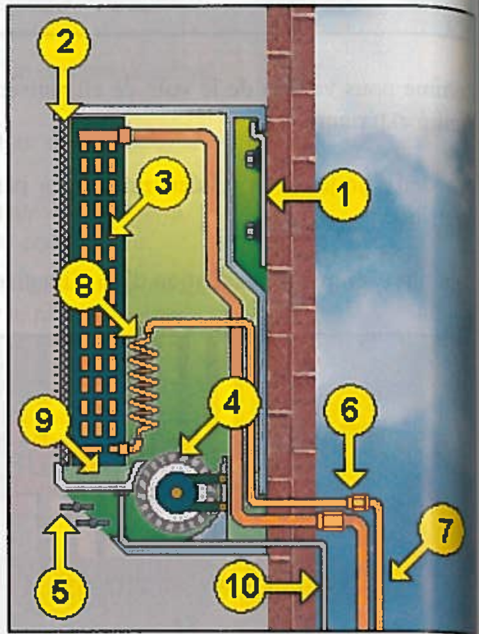
Ensuite, nous pourrons nous " frotter " aux systèmes réversibles (qui rafraîchissent en été et chauffent en hiver) puis aux systèmes Inverter (qui utilisent des compresseurs à vitesse variable).

Mais, avant de détailler le fonctionnement du split-système " froid seul ", nous allons faire plus ample connaissance avec ses différents constituants.

Même si le schéma est un peu petit, pourquoi n'essayeriez-vous pas de repérer les différents composants que vous connaissez déjà avant de consulter la page suivante ?

Commençons par examiner l'unité intérieure :

Repère 1 : Le support.
Il permet de fixer l'unité intérieure sur le mur. On parle alors de climatiseur mural.



Repère 2 : Le filtre sur l'air.
Il permet de filtrer l'air du local avant que ce dernier traverse l'évaporateur.

Repère 3 : L'évaporateur.
C'est l'échangeur thermique qui permet de refroidir l'air ambiant.

Repère 4 : Le ventilo-évaporateur.
Ce ventilateur (souvent de type tangentiel) aspire l'air du local à travers l'évaporateur pour le souffler au travers des volets de soufflage.

Repère 5 : Les volets de soufflage.
Ils peuvent être motorisés ou non.
Ces volets sont toujours réglables pour permettre à l'utilisateur de choisir l'orientation du flux d'air frais soufflé par le ventilateur.

Repère 6 : Les raccords frigorifiques.
Ces raccords spéciaux assurent la liaison entre l'unité intérieure et l'unité extérieure. Il existe essentiellement deux types de raccords : 'Quick' ou 'Flare'. Nous en reparlerons lors de l'étude des divers raccordements.

Repère 7 : Les tuyauteries.
Elles permettent la circulation du fluide frigorigène entre les 2 unités. *Elles sont en cuivre de qualité frigorifique.*

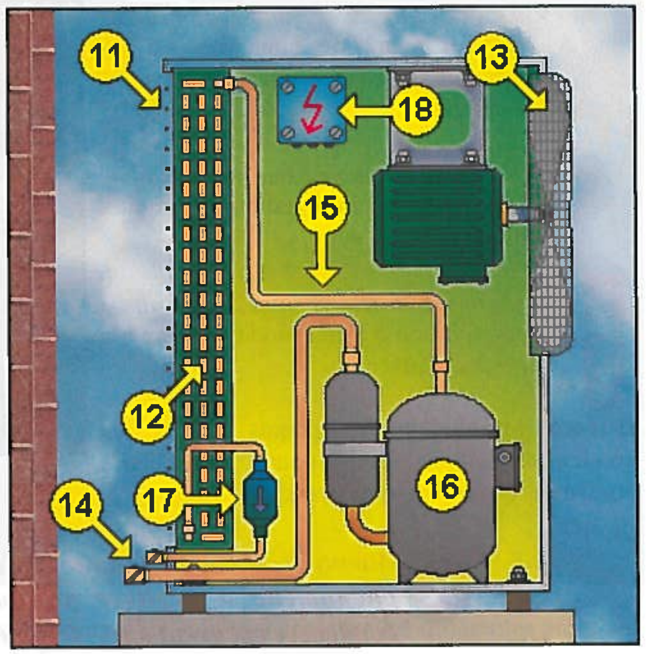
Attention, le tube cuivre du plombier, de qualité sanitaire, ne peut absolument pas être utilisé.

Repère 8 : Le détendeur.
En climatisation de confort, les détendeurs sont essentiellement fabriqués avec du tube très fin appelé tube capillaire (*nous parlerons des détendeurs électroniques un peu plus tard).* Pour rappel, le détendeur se trouve parfois dans l'unité extérieure.

Repère 9 : Les condensats.
En traversant l'évaporateur, l'air ambiant se refroidi mais une partie de la vapeur d'eau contenue dans cet air se condense. Les condensats obtenus sont récupérés dans un bac situé sous l'évaporateur pour être acheminé à l'extérieur du local par un tube d'évacuation (**repère 10**).

A présent, examinons l'unité extérieure :

Repère 11 : La grille.
Son rôle est de protéger les ailettes du condenseur contre les chocs légers.



Repère 12 : Le condenseur.
C'est l'échangeur qui permet la condensation du fluide frigorigène.

Repère 13 : Le ventilateur.
Ce ventilateur hélicoïde aspire l'air extérieur à travers le condenseur et le rejette au travers de la grille de protection du ventilateur.

Repère 14 : Les raccords de liaison.
Ces raccords spéciaux sont conçus pour assurer la liaison avec l'unité intérieure.

Repère 15 : Les tuyauteries.
Ces tuyauteries en cuivre permettent la circulation du fluide frigorigène et elles doivent obligatoirement être de qualité frigorifique.

Repère 16 : Le compresseur.
Ce compresseur est de type hermétique, c'est-à-dire qu'on ne peut pas l'ouvrir pour le réparer. Jusqu'à présent, nous avons plus particulièrement parlé du fonctionnement du compresseur à pistons car c'est le plus simple à comprendre. Cependant, il existe également des compresseurs hermétiques de type rotatif à palette (comme celui représenté ci-dessus) et d'autres de type spiro-orbital, appelés également 'Scroll'. Nous en parlerons en détails un peu plus tard.

Repère 17 : Le filtre.
Sa fonction est de filtrer le fluide frigorigène afin qu'une éventuelle impureté ne puisse boucher l'orifice très étroit du détendeur capillaire. Il permet aussi de déshydrater le fluide frigorigène car l'eau est l'ennemie mortelle du frigoriste.

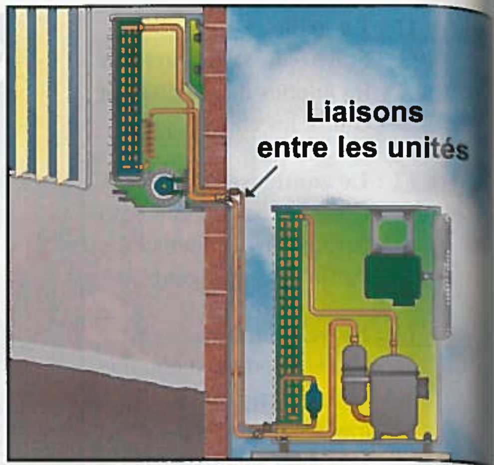
Fluide frigorigène + eau = acides très violents entaînant invariablement la mort du compresseur.

Repère 18 : Le coffret électrique.
Ce coffret permet de raccorder l'alimentation de l'appareil mais aussi les liaisons électriques entre l'unité intérieure et l'unité extérieure.

A présent, il nous reste à relier ces deux unités !

Pour raccorder les unités entre elles, nous allons utiliser :

- *Des tuyauteries de qualité frigorifique* prévues pour être branchées sur les raccords de chaque unité intérieure et extérieure.
- *Un câble d'automatisme* permettant de faire passer les informations électriques d'une unité à l'autre.
- *Un tube d'évacuation des condensats* si une solution d'évacuation intérieure n'a pu être trouvée.



Il est primordial de ne jamais oublier les condensats. Sinon, vous pouvez leur faire confiance, ils ne vous oublieront pas !

Attention, la condensation sur l'évaporateur n'est pas un phénomène à négliger puisque les quantités d'eau condensées peuvent atteindre plusieurs dizaines de litres !

Remarques :

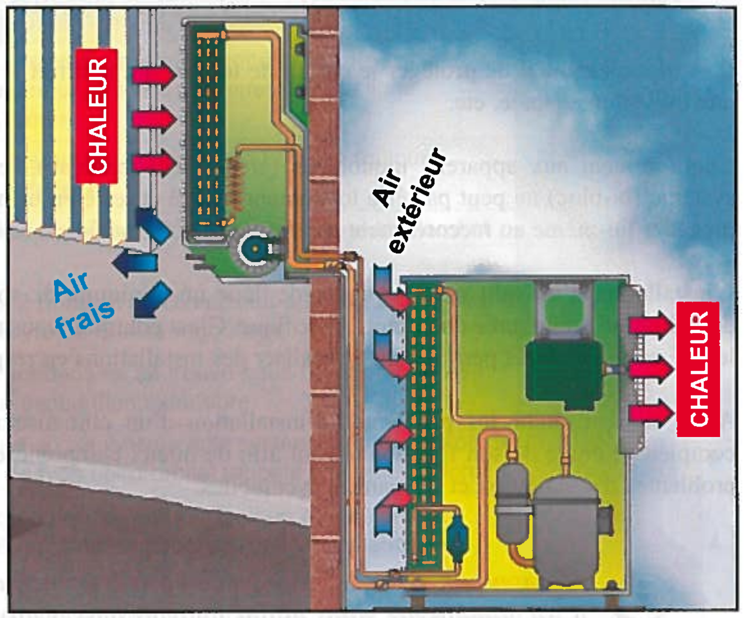
- Selon le type et la puissance de l'appareil, l'alimentation électrique peut se faire sur l'unité intérieure, sur l'unité extérieure, en 220 volts monophasé ou en 380 volts triphasé.
- Il est nécessaire d'isoler au moins l'une des deux tuyauteries frigorifiques de liaison, parfois les 2, selon le type d'appareil.
- Quel que soit le type de climatiseur installé, il est impératif de fixer convenablement les deux unités afin de limiter au maximum les vibrations. Le confort thermique apporté par le climatiseur ne doit pas être perturbé par des désagréments acoustiques.
- Le confort c'est aussi l'esthétisme. Le choix de l'emplacement de l'unité intérieure ne doit pas défigurer le local. Il doit permettre une bonne diffusion de l'air traité, une évacuation facile des eaux de condensation, une longueur de tuyauterie frigorifique la plus courte possible, dans les limites des prescriptions du constructeur. Ce n'est pas toujours facile !
- Le choix de l'emplacement de l'unité extérieure ne doit pas non plus défigurer le bâtiment, tout en respectant les règles d'installation. Le niveau sonore de l'unité extérieure ne doit pas perturber le voisinage. Attention, certain bâtiments peuvent être classés et il est alors interdit d'installer quoi que se soit sur les façades.

A présent, examinons de plus près le circuit frigorifique…

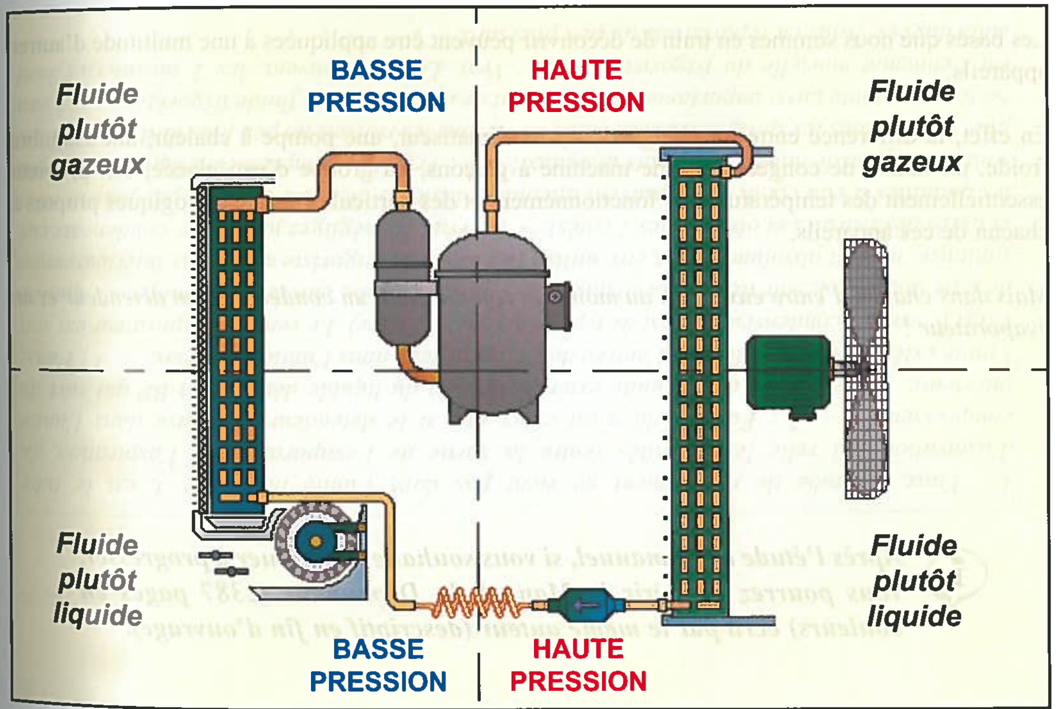
Le fonctionnement du circuit frigorifique d'un climatiseur split système est rigoureusement le même que celui d'un climatiseur monobloc. La principale différence provient du ventilateur de l'évapo qui est équipé d'un moteur indépendant.

Nous connaissons déjà le schéma ci-contre où l'air ambiant du local est refroidi en traversant l'évaporateur, tandis que l'air extérieur est réchauffé en traversant le condenseur.

Comme avec tous les circuits frigorifiques, la chaleur est pompée dans le local à climatiser pour être évacuée à l'extérieur.



Pour rappel, vous trouverez ci-dessous le circuit d'un split système avec les différentes pressions et les différents états physiques du fluide frigorigène.



Il est important de comprendre que tous les circuits frigorifiques à compression ont exactement le même principe de fonctionnement…

Rappelons-nous qu'à chaque tour de circuit, le fluide frigorigène traverse exactement les mêmes appareils, dans le même état physique et avec les mêmes propriétés. Il ne s'use jamais.

Il est donc essentiel de protéger le circuit de tout ce qui pourrait le détériorer : l'air, l'humidité, une huile non adaptée, etc.

Contrairement aux appareils monoblocs (en un seul morceau), le circuit frigorifique du split système (bi-bloc) ne peut pas être totalement réalisé et testé en usine. En effet, l'installateur doit procéder lui-même au raccordement des tuyauteries frigorifiques reliant les 2 unités.

L'installation d'un split système demande donc un minimum de soins si nous voulons éviter la détérioration prématurée du circuit frigorifique. C'est pourquoi vous trouverez dans ce manuel tous les éléments qui vous permettront de réaliser des installations en respectant les règles de l'art.

Avant d'approfondir les problèmes d'installation d'un climatiseur split système, nous allons compléter l'étude de son fonctionnement afin de mieux comprendre ses limites d'utilisation, ses problèmes d'installation et ses pannes éventuelles.

Maintenant, si vous avez bien compris le principe de fonctionnement d'un climatiseur, nous allons pouvoir passer aux choses sérieuses et parler des pressions et des températures de fonctionnement.

Les bases que nous sommes en train de découvrir peuvent être appliquées à une multitude d'autres appareils.

En effet, la différence entre un réfrigérateur, un climatiseur, une pompe à chaleur, une chambre froide, un tunnel de congélation, une machine à glaçons, un groupe d'eau glacée, etc. provient essentiellement des températures de fonctionnement et des particularités technologiques propres à chacun de ces appareils.

Mais dans chacun d'entre eux, il y a au moins un compresseur, un condenseur, un détendeur et un évaporateur !

Après l'étude de ce manuel, si vous souhaitez continuer à progresser, vous pourrez acquérir le Manuel du Dépanneur (1387 pages en couleurs) écrit par le même auteur (descriptif en fin d'ouvrage).

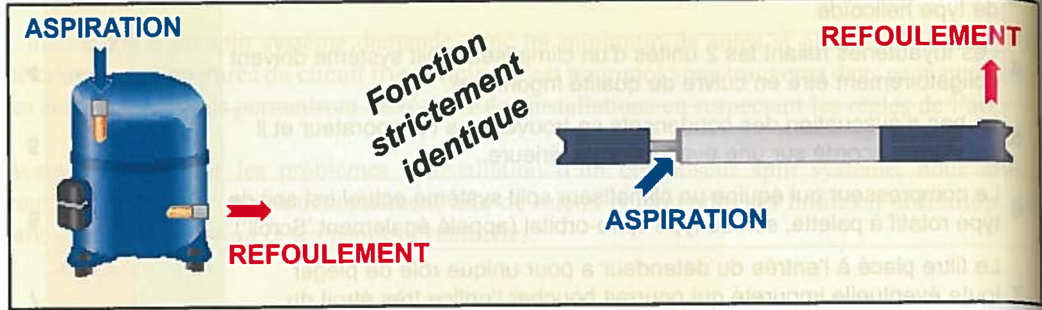
	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°10 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX
1	Dans un climatiseur split système classique l'unité intérieure est toujours reliée à l'unité extérieure par 2 tuyauteries HP : la ligne liquide et le tube de refoulement.		
2	Dans un climatiseur split système la ligne liquide HP relie toujours l'unité intérieure à l'unité extérieure.		
3	Le ventilo-évaporateur d'un climatiseur split système est généralement de type hélicoïde.		
4	Les tuyauteries reliant les 2 unités d'un climatiseur split système doivent obligatoirement être en cuivre de qualité frigorifique.		
5	Le bac d'évacuation des condensats se trouve sous l'évaporateur et il doit être raccordé sur une évacuation extérieure.		
6	Le compresseur qui équipe un climatiseur split système actuel est soit de type rotatif à palette, soit de type spiro-orbital (appelé également 'Scroll').		
7	Le filtre placé à l'entrée du détendeur a pour unique rôle de piéger toute éventuelle impureté qui pourrait boucher l'orifice très étroit du détendeur capillaire.		
8	Il est indispensable d'isoler au moins l'une des deux tuyauteries frigorifiques de liaison, et parfois les 2 selon le type d'appareil.		

CORRIGÉ DE L'EXERCICE

1 : Faux. Le tube de refoulement ne vient pas dans l'unité intérieure. C'est le tube d'aspiration qui relie les 2 unités (entre la sortie de l'évaporateur et l'aspiration du compresseur). - 2 : Faux. Cela n'est exact que si le détendeur se trouve dans l'unité intérieure. S'il est placé dans l'unité extérieure, c'est du liquide détendu en BP qui sort de l'unité extérieure pour aller sur l'entrée de l'évaporateur dans l'unité intérieure. - 3 : Faux. C'est le ventilo-condenseur qui est de type hélicoïde (à hélice). Le ventilo-évaporateur est soit de type tangentiel, soit de type centrifuge. - 4 :Vrai. Le tube cuivre du plombier, de qualité sanitaire, ne doit absolument pas être utilisé (les tubes du frigoriste sont polis intérieurement et livrés déshydratés et obturés des 2 côtés). - 5 : Vrai. Ne négligez jamais les condensats car les quantités d'eau condensées peuvent atteindre plusieurs dizaines de litres par jour et elles sont à l'origine de nombreux dégâts des eaux ! - 6 : Vrai. Les compresseurs à pistons ne sont plus utilisés dans les splits modernes. Nous en verrons les raisons un peu plus tard. - 7 : Faux. Sa fonction toute aussi importante est également de déshydrater le fluide frigorigène car l'eau est l'ennemie mortelle du frigoriste. - 8 : Vrai. Le plus souvent, les 2 tuyauteries sont calorifugées. Nous en reparlerons un peu plus tard.

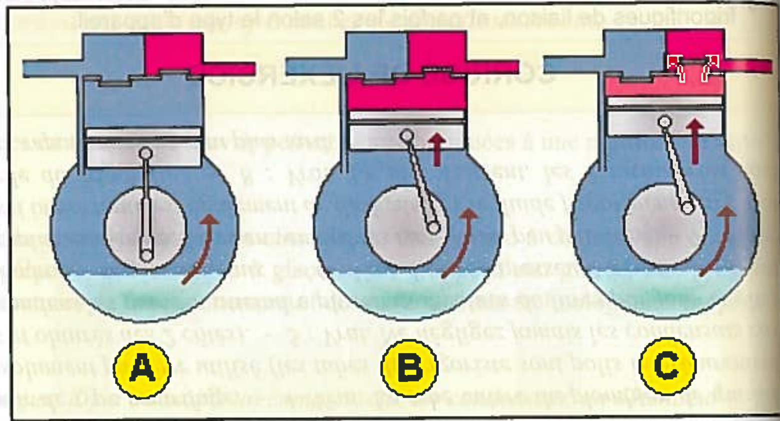
LE COMPRESSEUR À PISTONS FONCTIONNEMENT NORMAL

Comme nous l'avons vu précédemment, le compresseur à pistons fonctionne exactement comme un pompe à vélo. La différence principale provient du fait que le compresseur est entraîné par un moteur électrique.



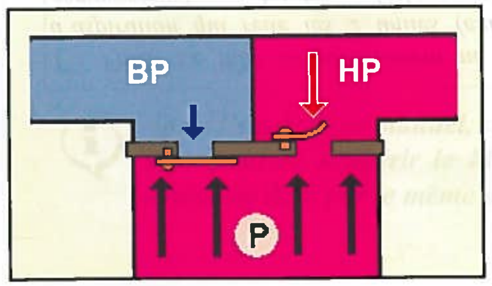
Leur fonction est strictement identique : *aspirer un gaz pour le refouler.*

Rappelez-vous du fonctionnement de ce type de compresseur :



En **A**, le piston est au point mort bas. Le cylindre est alors entièrement rempli de vapeurs de fluide frigorigène **BP**.

En **B**, le piston monte dans le cylindre en comprimant les vapeurs. La pression et la température augmentent continuellement mais pour l'instant, les 2 clapets restent hermétiquement fermés.

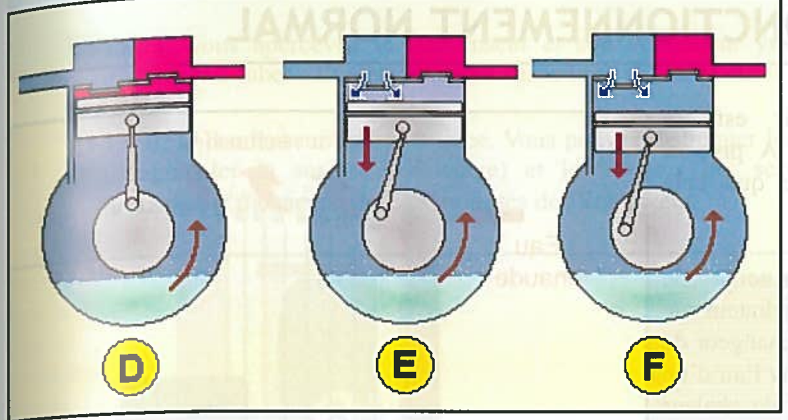


En **C**, la pression **P** des vapeurs dans le cylindre devient *légèrement supérieure* à la pression **HP** qui règne au-dessus du clapet de refoulement et *le clapet s'ouvre.* Du fait de la différence de pression de part et d'autre du clapet **BP**, celui-ci reste hermétiquement fermé.

Comme le piston continue à monter, les vapeurs HP sont expulsées dans la tuyauterie de refoulement.

C'est uniquement la différence de pression qui provoque l'ouverture (ou la fermeture) du clapet HP.

En **D**, le piston est arrivé au point mort haut et il amorce sa course de descente.



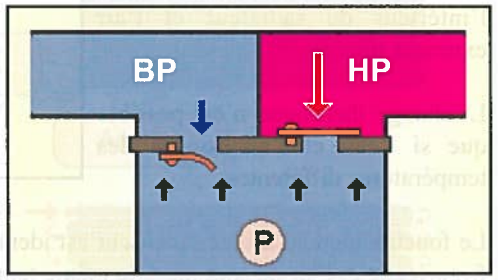
En **E**, le piston continue sa descente. Au moment où la pression **P** dans le cylindre devient *légèrement inférieure* à la pression **BP**, le clapet d'aspiration s'ouvre.

A ce moment, les vapeurs **BP** s'engouffrent dans le cylindre pendant toute la descente du piston.

En **F**, le piston poursuit sa descente jusqu'au point mort bas.

A ce moment, le cylindre est entièrement rempli de vapeurs **BP** et le clapet se ferme.

L'arbre du compresseur vient de faire un tour complet et le piston un aller et retour dans le cylindre : nous voici revenu à notre point de départ.

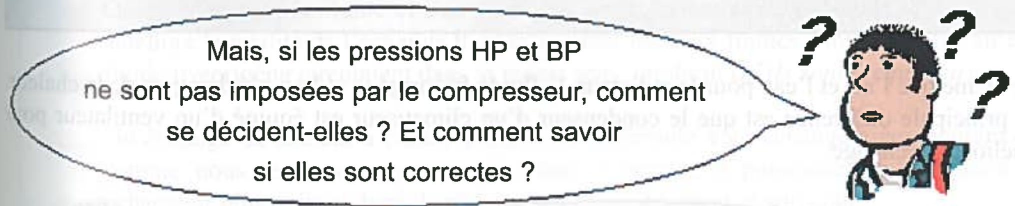


Le cylindre est entièrement rempli de vapeurs de fluide frigorigène à basse pression et le piston amorce sa course de montée, etc.

Seule la différence de pression agit sur l'ouverture ou la fermeture du clapet BP.

L'ouverture des clapets HP et BP est uniquement due à la différence entre la pression du gaz emprisonné dans le cylindre et les pressions **HP** et **BP**. Il est primordial de bien comprendre que **ce n'est pas le compresseur qui décide de la valeur des pressions HP et BP.**

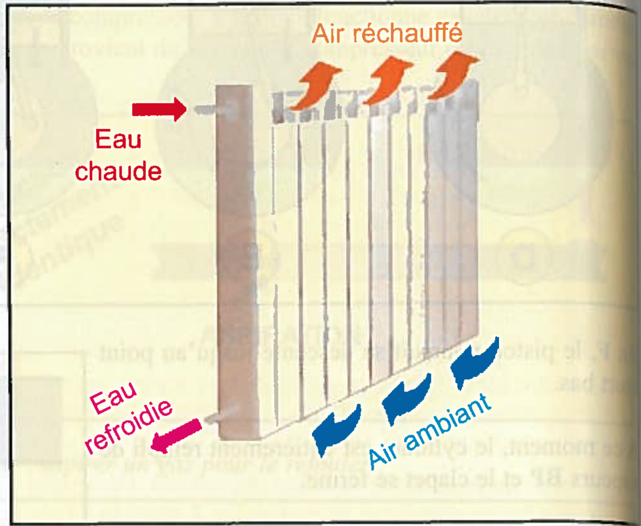
Son rôle est simplement celui d'un *ascenseur* qui **permet de monter du niveau de pression BP au niveau de pression HP.**



Nous allons commencer à répondre à cette question très importante dans le chapitre suivant...

LE CONDENSEUR À AIR FONCTIONNEMENT NORMAL

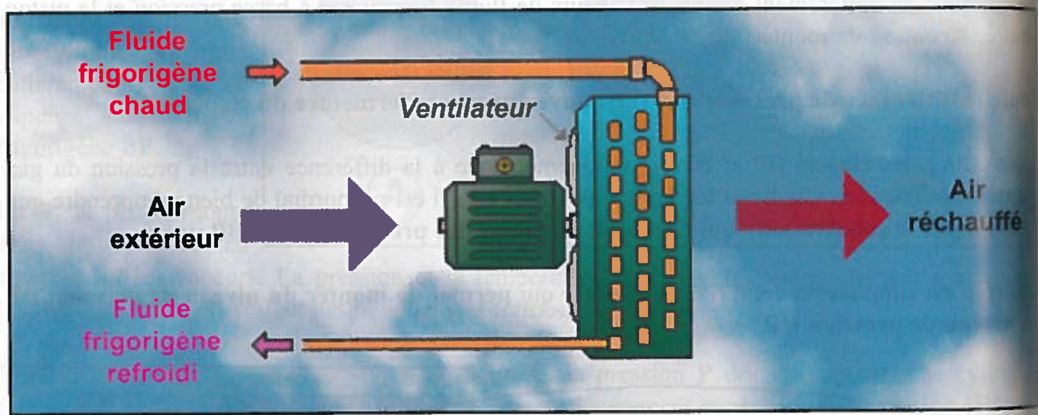
Le condenseur à air est un échangeur de chaleur. A propos, vous rappelez-vous ce que cela signifie ?



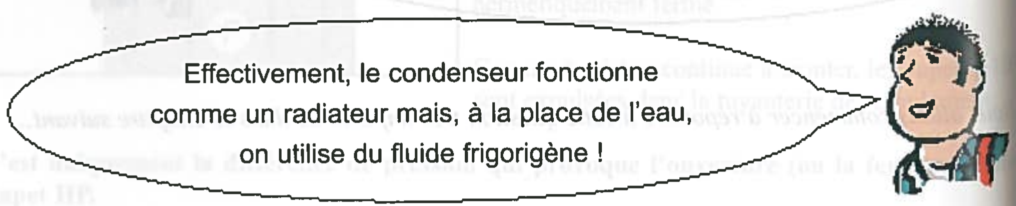
Souvenez-vous du principe de fonctionnement d'un radiateur de chauffage central. Cet échangeur de chaleur permet de chauffer l'air d'un local grâce à l'échange de chaleur entre l'eau chaude qui circule à l'intérieur du radiateur et l'air extérieur plus froid.

L'échange thermique n'est possible que si l'eau et l'air sont à des températures différentes.

Le fonctionnement d'un condenseur est identique. L'échange de chaleur est possible car le fluide frigorigène et l'air ne sont pas à la même température.

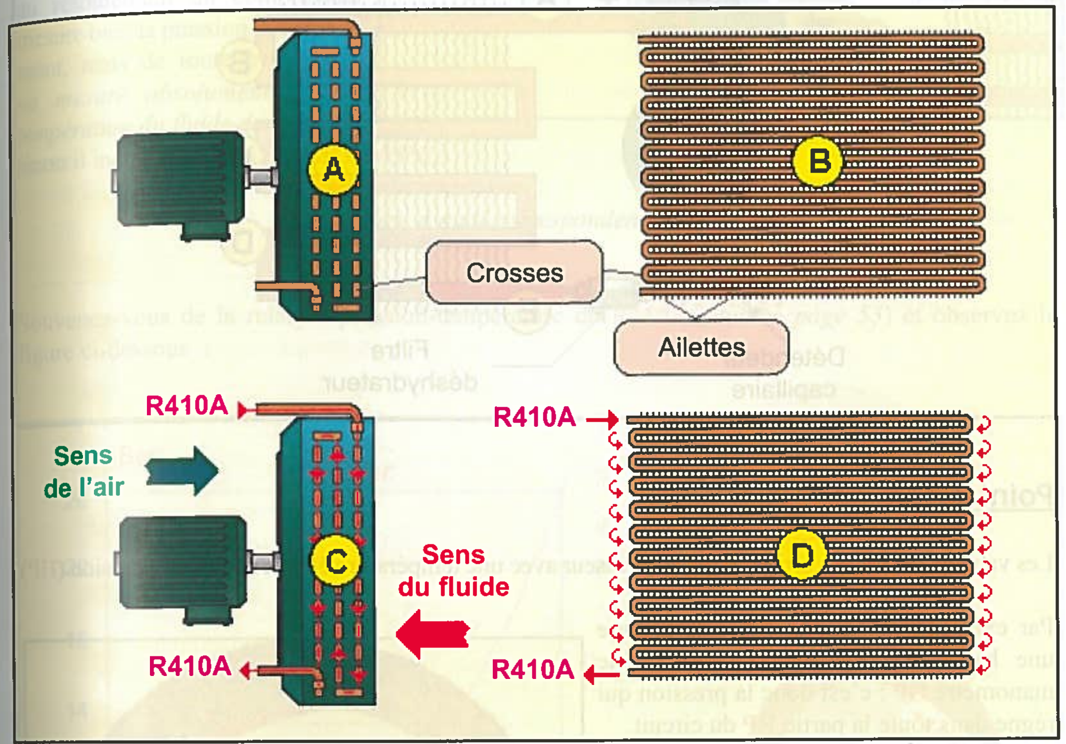


De même que l'air et l'eau pour le radiateur, le fluide frigorigène et l'air s'échangent de la chaleur. La principale différence est que le condenseur d'un climatiseur est équipé d'un ventilateur pour améliorer l'échange.



A présent, observons le condenseur ci-dessous d'un peu plus près et intéressons-nous au sens de passage du fluide frigorigène et à celui de l'air.

- En **A**, vous apercevez le condenseur et son ventilateur vus de côté. Vous pouvez distinguer 2 tubes : l'un est raccordé sur le haut et l'autre sur le bas de l'appareil.
- En **B**, le condenseur est vu de face. Vous pouvez distinguer les ailettes (qui permettent d'augmenter la surface d'échange) et les crosses qui servent à relier les tubes horizontaux à chacune des 2 extrémités de l'échangeur.



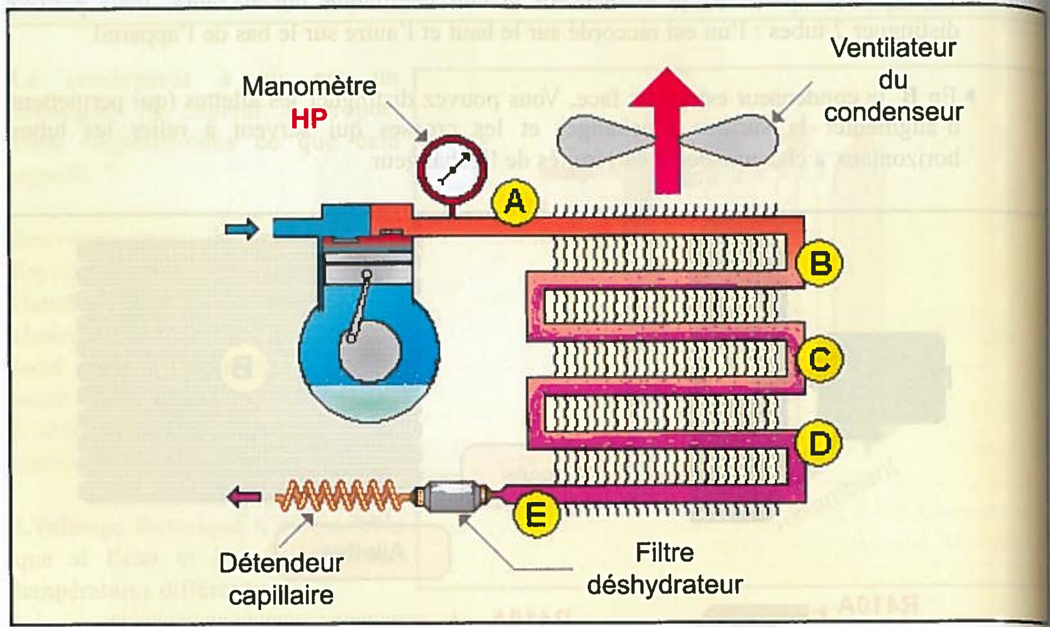
- En **C**, on voit que le R410A pénètre dans le condenseur par le tube supérieur *droit* et qu'il en sort par le tube inférieur *gauche*, tandis que l'air circule de la *gauche* vers la *droite* : *le fluide et l'air circulent donc en sens inverse.*

On dit alors que le fluide et l'air circulent **à contre courant.** Ce mode de circulation améliore la qualité de l'échange thermique entre les deux fluides. Notez que si l'air et le fluide frigorigène circulaient dans le même sens, on dirait qu'*ils sont à équicourant.*

Un échange de chaleur à contre courant est préférable à un échange à équicourant car, comme nous le verrons un peu plus tard il permet, à puissance égale, d'avoir un échangeur plus petit et donc de réduire son encombrement et son coût.

- En **D**, vous apercevez la circulation du fluide dans l'échangeur vu de face. Les vapeurs surchauffées qui arrivent du refoulement du compresseur entrent par le haut et se condensent. Les liquides étant plus lourds que les gaz, *on récupère tout naturellement le frigorigène liquide dans le bas du condenseur.*

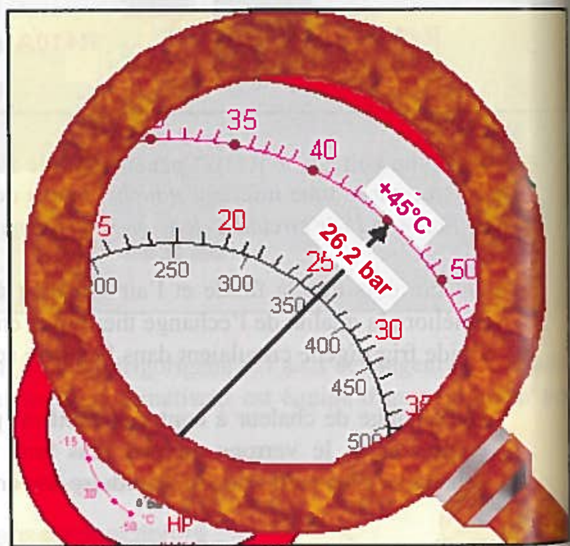
A présent, à l'aide du schéma ci-dessous, nous allons étudier d'un peu plus près l'évolution du fluide frigorigène pendant sa traversée du condenseur, des points A à E.



Point A :

Les vapeurs de R410A arrivent du compresseur avec une température élevée et à haute pression (HP).

Par exemple, imaginons que l'on mesure une haute pression de **26,2 bar** sur le manomètre HP : c'est donc la pression qui règne dans toute la partie HP du circuit.



Mais, à quoi correspond la température indiquée par le manomètre ?

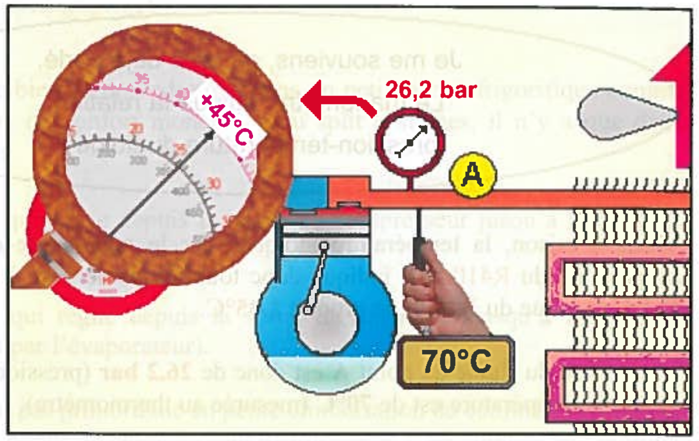
Attention, il s'agit bien d'une température " indiquée " et en aucun cas d'une température " mesurée " par le manomètre.

Effectivement, **un manomètre est un appareil qui mesure une pression** et uniquement une pression : il serait bien incapable de *mesurer* une température. Par contre, le manomètre du frigoriste sait *indiquer* une température. Encore faudrait-il savoir à quoi cette indication correspond.

Selon vous, à quoi correspond la température de 45°C indiquée par le manomètre ?

La température indiquée par le manomètre est de 45°C.

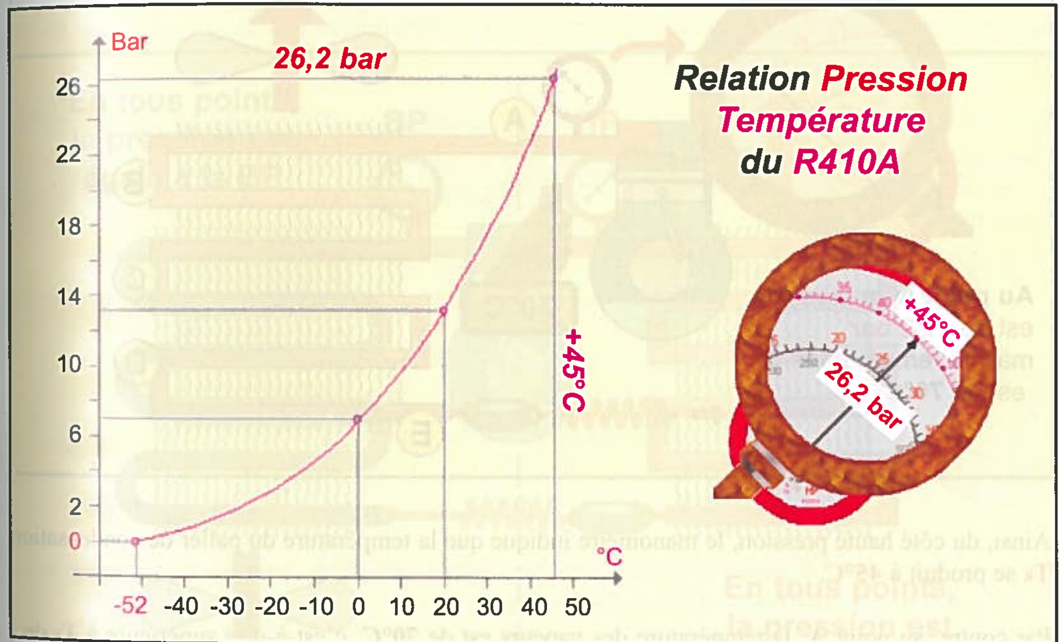
Pourtant, si on mesure la température du fluide à la sortie du compresseur, le thermomètre indique beaucoup plus, par exemple 70°C !



Ainsi, le manomètre raccordé au refoulement du compresseur mesure bien la pression de refoulement, mais de toute évidence *il ne mesure absolument pas la température du fluide dans le tube* sinon il indiquerait **70°C** au lieu de 45°C !

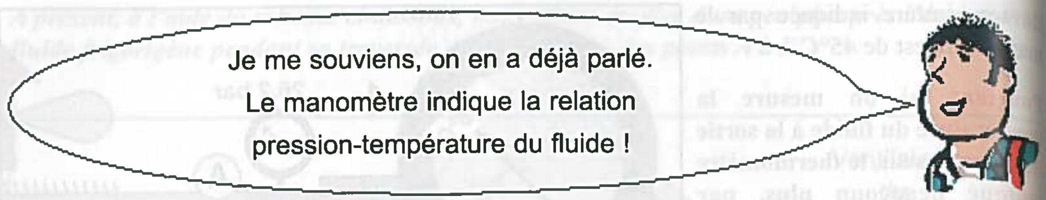
Mais alors, à quoi correspondent ces 45°C ?

Souvenez-vous de la relation pression-température du R410A (étudiée *page 53*) et observez la figure ci-dessous :



Sur cette courbe, nous pouvons constater qu'à **26,2 bar** le palier de condensation du R410A se produit à 45°C. Sur le manomètre, nous constatons que l'aiguille indique **26,2 bar** et **45°C**, c'est-à-dire exactement les mêmes valeurs que la courbe.

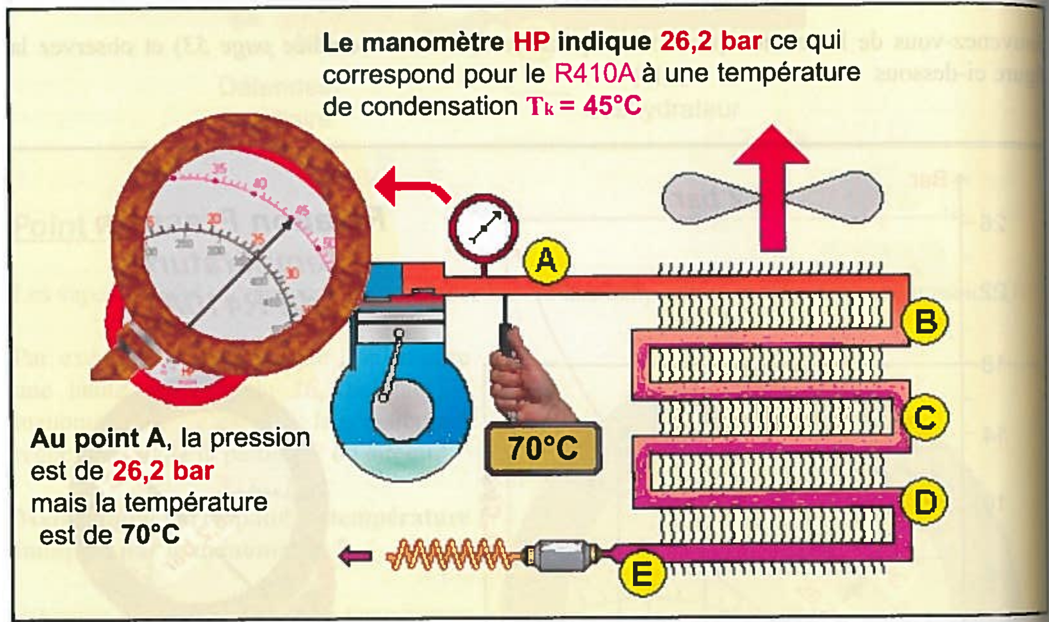
Qu'en concluez-vous ?



Alexis à raison, la température indiquée par le manomètre est celle de la relation pression-température du R410A. Il indique donc tout simplement qu'à 26,2 bar le palier de changement d'état physique du R410A se produit à 45°C.

La pression du fluide au point **A** est donc de **26,2 bar** (pression mesurée au manomètre HP). Par contre, la température est de **70°C** (mesurée au thermomètre).

Notez que de nombreux frigoristes ont l'habitude, pour parler de *la température du palier de condensation*, de l'appeler T_k. Cela signifie exactement la même chose mais c'est quand même beaucoup plus court. Alors, rappelez-vous en.



Ainsi, du côté haute pression, le manomètre indique que la température du palier de condensation T_k se produit à 45°C.

Par contre, au point **A**, la température des vapeurs est de **70°C**, c'est-à-dire supérieure à T_k de : 70 – 45 = 25°C.

Dans le jargon des frigoristes, on dit que les vapeurs en **A** sont des **vapeurs surchauffées**. Cela signifie que leur température est supérieure à la température du palier de condensation, T_k.

Pour préciser, on peut même dire que la température des vapeurs en **A** étant supérieure de 25°C à T_k, *elles sont surchauffées de 25°C.*

Du point A au point B :

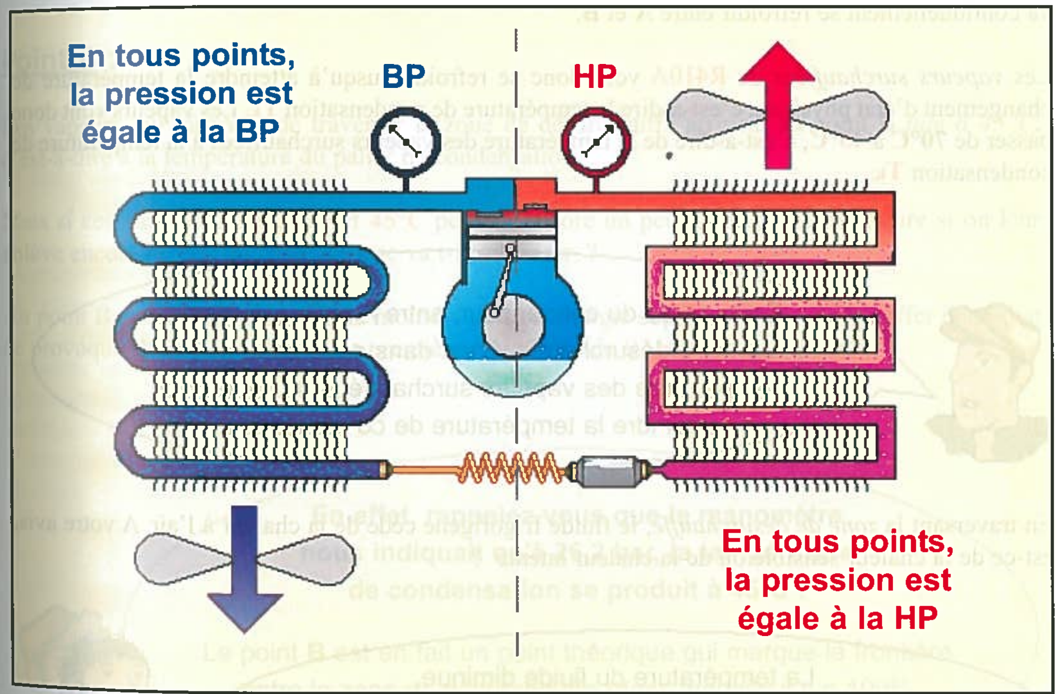
En préambule, il est important de bien comprendre que dans un petit circuit frigorifique comme ceux qui équipent les climatiseurs de confort monoblocs ou split systèmes, il n'y a que deux pressions en jeu dans tout le circuit :

- ***La haute pression HP***, qui règne depuis la sortie du compresseur jusqu'à l'entrée du détendeur (en passant par le condenseur).
- ***La basse pression BP***, qui règne depuis la sortie du détendeur jusqu'à l'entrée du compresseur (en passant par l'évaporateur).

La longueur des tuyauteries n'étant pas primordiale en petite climatisation de confort, les pertes de pression (appelées communément pertes de charges) sont négligeables. Cela signifie que le fluide perd très peu de pression pour vaincre la résistance de ces tuyauteries.

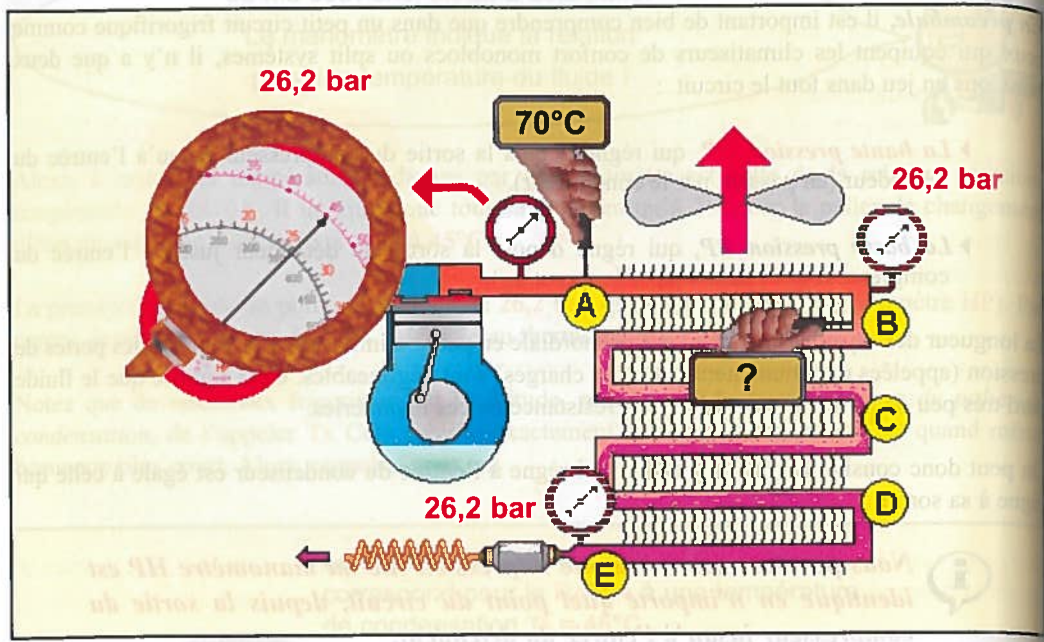
On peut donc considérer que la pression qui règne à l'entrée du condenseur est égale à celle qui règne à sa sortie.

Nous pouvons donc dire que la pression lue au manomètre HP est identique en n'importe quel point du circuit, depuis la sortie du compresseur jusqu'à l'entrée du détendeur.



Pour les mêmes raisons, notez dès à présent que la *pression lue au manomètre* ***BP*** *sera la même en n'importe quel point du circuit basse pression, depuis la sortie du détendeur jusqu'à l'entrée du compresseur.*

Mais que se passe t-il entre **A** et **B** ?



La température de l'air qui traverse le condenseur étant bien inférieure celle du R410A, le fluide va continuellement se refroidir entre **A** et **B**.

Les *vapeurs surchauffées* de R410A vont donc se refroidir jusqu'à atteindre la température de changement d'état physique, c'est-à-dire la température de condensation **Tk**. Les vapeurs vont donc passer de **70°C** à **45°C**, c'est-à-dire de la température des vapeurs surchauffées à la température de condensation **Tk**.



Cette partie du condenseur, entre A et B, est appelée zone de désurchauffe. C'est dans cette zone que la température des vapeurs surchauffées diminue pour atteindre la température de condensation.

En traversant la *zone de désurchauffe*, le fluide frigorigène cède de la chaleur à l'air. A votre avis est-ce de la chaleur sensible ou de la chaleur latente ?

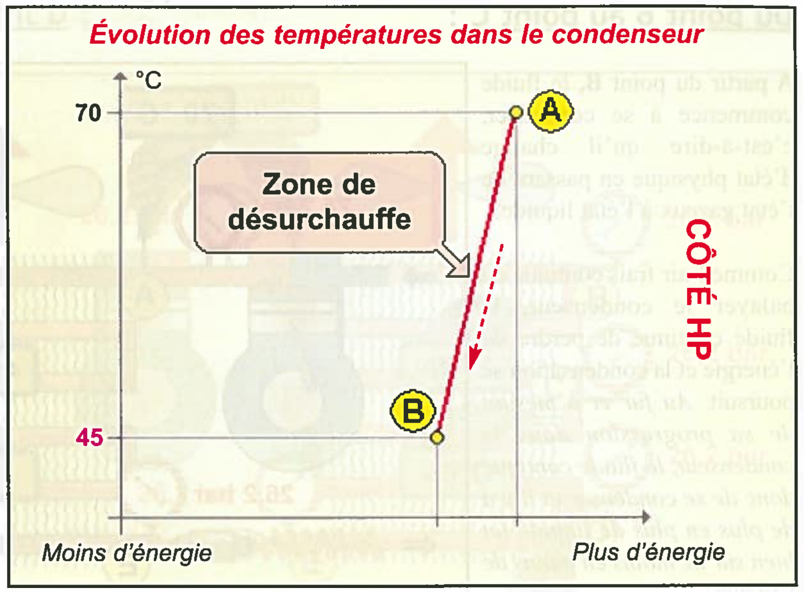
La température du fluide diminue,
elle est sensible à cette perte d'énergie,
il s'agit donc de chaleur sensible.



C'est exactement ça : le R410A gazeux cède de la chaleur sensible puisque sa température diminue.

Entre les points **A** et **B**, la température des vapeurs surchauffées de R410A diminue progressivement.

Cette température va donc diminuer jusqu'à atteindre celle du palier de condensation.



En entrant dans le condenseur, le fluide frigorigène (gazeux et surchauffé) traverse la zone de désurchauffe, ce qui l'amène à la température de condensation.

Point B :

Les vapeurs qui viennent de traverser la zone de désurchauffe arrivent au point **B** *pile à 45°C*, c'est-à-dire à la température du palier de condensation.

Mais si ces vapeurs à **26,2 bar** et **45°C** perdent encore un peu d'énergie (c'est-à-dire si on leur enlève encore un peu de chaleur), que va t-il se passer ?

Au point **B** de notre condenseur, la moindre perte d'énergie supplémentaire à pour effet immédiat de provoquer la condensation et la première gouttelette de R410A liquide apparaît.



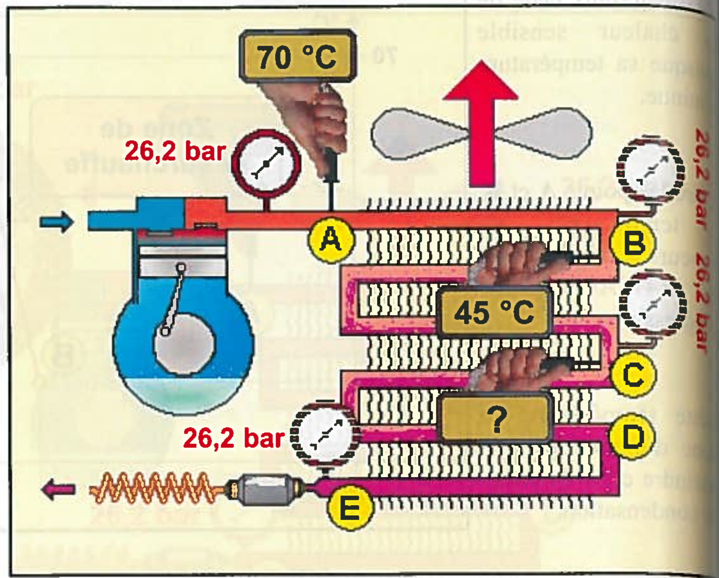
En effet, rappelez-vous que le manomètre nous indiquait qu'à 26,2 bar, la température de condensation se produit à 45°C !

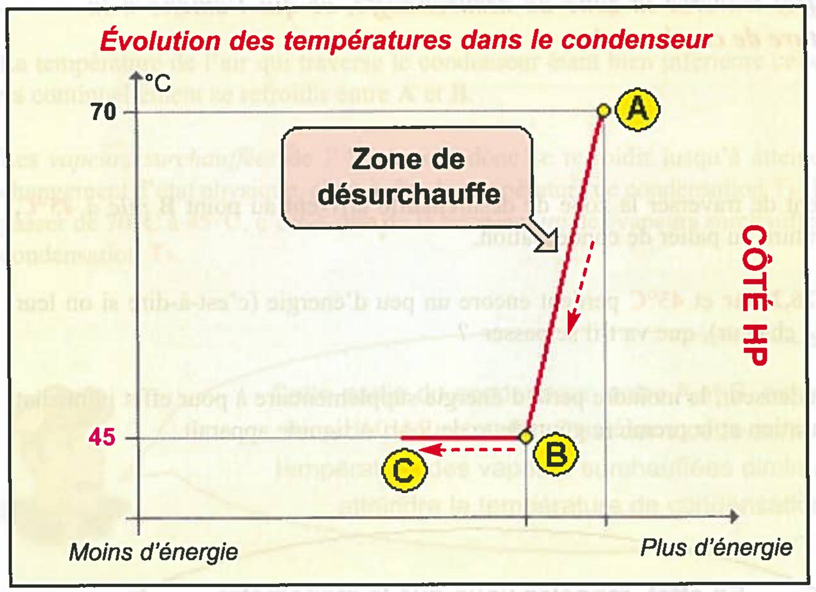
Le point **B** est en fait un point théorique qui marque la frontière entre la zone de désurchauffe (dans laquelle il y a 100% de vapeurs) et la zone de condensation (dans laquelle il y a un mélange de liquide et de vapeurs).

Du point B au point C :

A partir du point **B**, le fluide commence à se condenser, c'est-à-dire qu'il change d'état physique en passant de l'état gazeux à l'état liquide.

Comme l'air frais continue de balayer le condenseur, le fluide continue de perdre de l'énergie et la condensation se poursuit. *Au fur et à mesure de sa progression dans le condenseur, le fluide continue donc de se condenser et il y a de plus en plus de liquide (et bien sûr de moins en moins de vapeurs).*





La pression HP reste constante à 26,2 bar.

La chaleur enlevée au fluide sert intégralement à provoquer le changement d'état (c'est donc de la chaleur latente).

Puisque nous sommes alors sur le palier de condensation, la température du mélange liquide / vapeur reste absolument constante à 45°C.

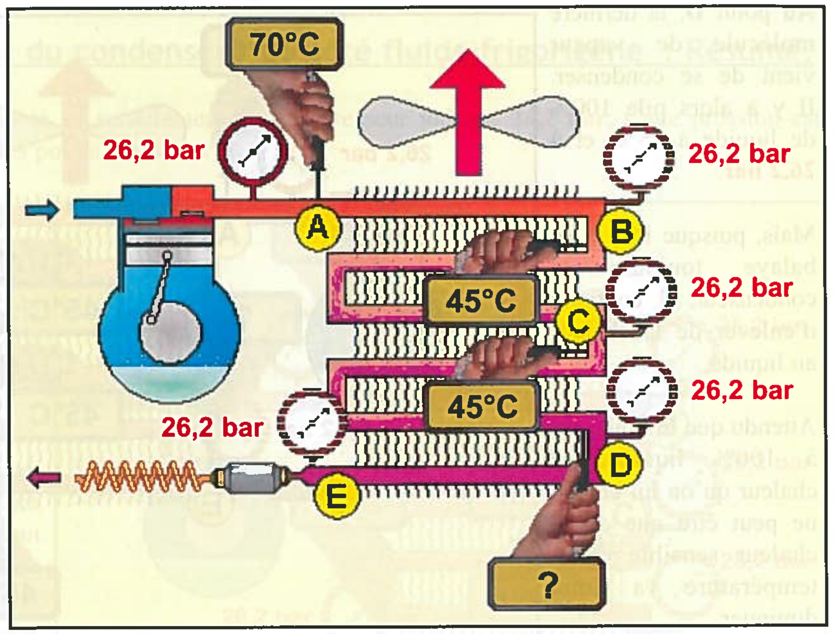
C'est pourquoi, si on mesure la température d'une crosse vers la zone centrale du condenseur, par exemple au point C ci-dessus, le thermomètre indique 45°C.

Dans le jargon du frigoriste, pour désigner un mélange de liquide et de vapeur, on parle de **vapeurs saturantes**. Du côté HP, ce mélange n'existe que sur le palier de condensation. C'est donc le seul endroit où la relation pression température indiquée par le manomètre HP est valable (**26,2 bar** et 45°C dans notre exemple).

Du point C au point D :

Au point **C**, le fluide est à l'état de vapeurs saturantes. C'est donc un mélange de liquide et de vapeurs à 45°C et 26,2 bar.

Au fur et à mesure de sa progression vers le point **D**, la condensation continue de plus belle et il y a de plus en plus de liquide et de moins en moins de vapeurs.

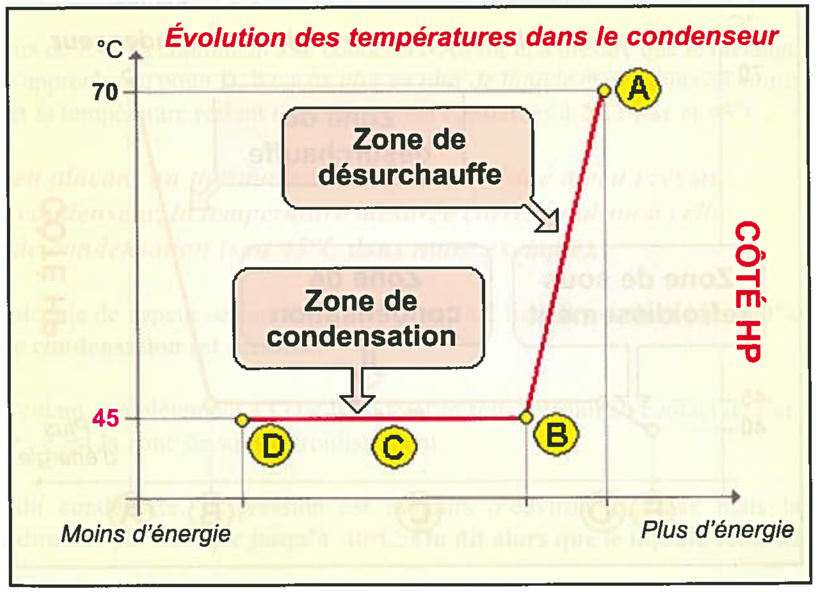


Notez que depuis le point **B** (où la première gouttelette de liquide est apparue), le fluide est à l'état de vapeurs saturantes, sur son palier de condensation à 45°C. La zone de condensation se terminera au moment précis où la dernière molécule de vapeur se condensera. A ce moment, il n'y aura plus du tout de vapeur et le R410A se trouvera à 100% à l'état liquide.

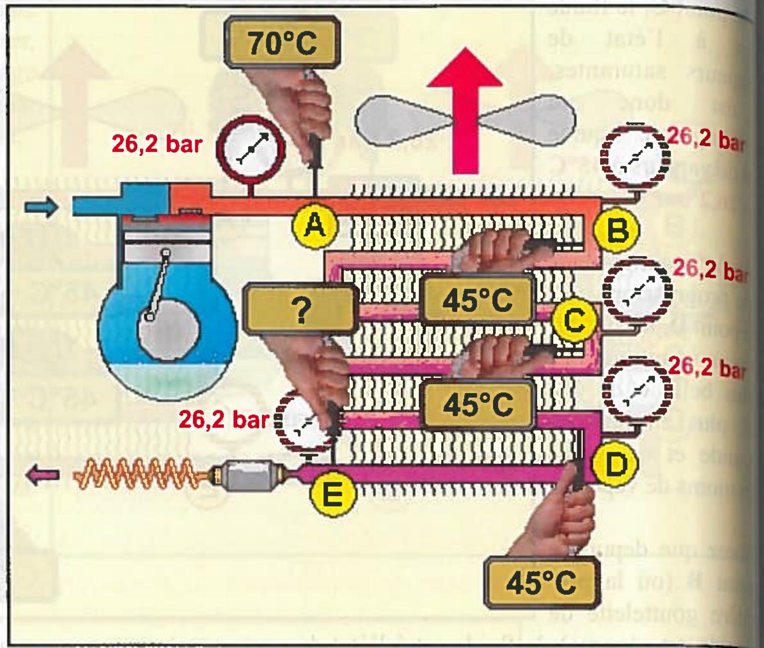
C'est précisément ce qui se produit au point D : la dernière molécule de vapeur se condense et il y a alors 100% de R410A liquide.

Nous pouvons voir sur la courbe ci-contre que, pendant tout le palier de condensation qui se produit entre **B** et **D**, le fluide perd de l'énergie sous forme de chaleur latente.

Une nouvelle fois, rappelez-vous que la température du fluide reste rigoureusement constante pendant toute la durée du palier de condensation (à 45°C dans l'exemple).



Du point D au point E :



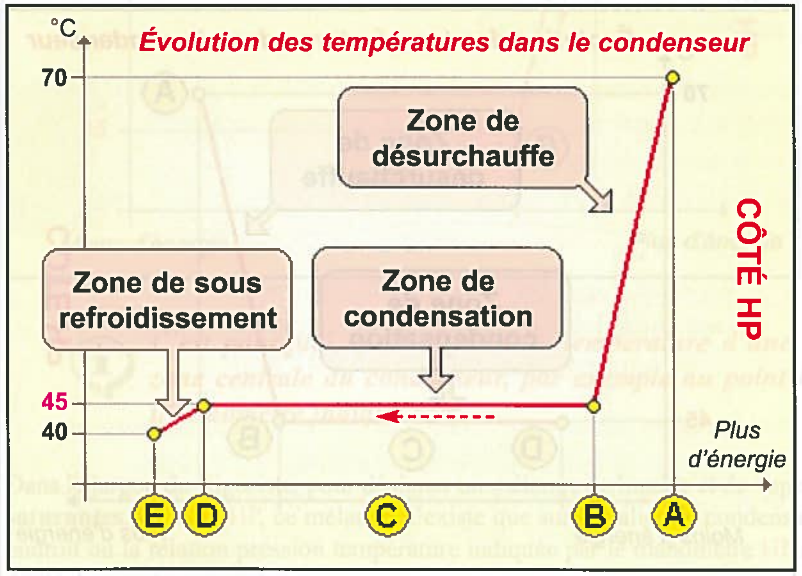
Au point **D**, la dernière molécule de vapeur vient de se condenser. Il y a alors pile 100% de liquide à 45°C et à **26,2 bar**.

Mais, puisque l'air frais balaye toujours le condenseur, il continue d'enlever de la chaleur au liquide.

Attendu que le fluide est à 100% liquide, la chaleur qu'on lui enlève ne peut être que de la chaleur sensible et sa température va donc diminuer.

Au point **E**, à la sortie du condenseur, le frigorigène liquide sera donc à une température inférieur à la température de condensation T_k (par exemple à 40°C). Dans le jargon du frigoriste, on parl alors de **liquide sous-refroidi**. Cela signifie que le liquide est à une température inférieure à cell du palier de condensation T_k.

La différence entre la température de condensation et celle du liquide à la sortie d condenseur s'appelle le sous refroidissement.



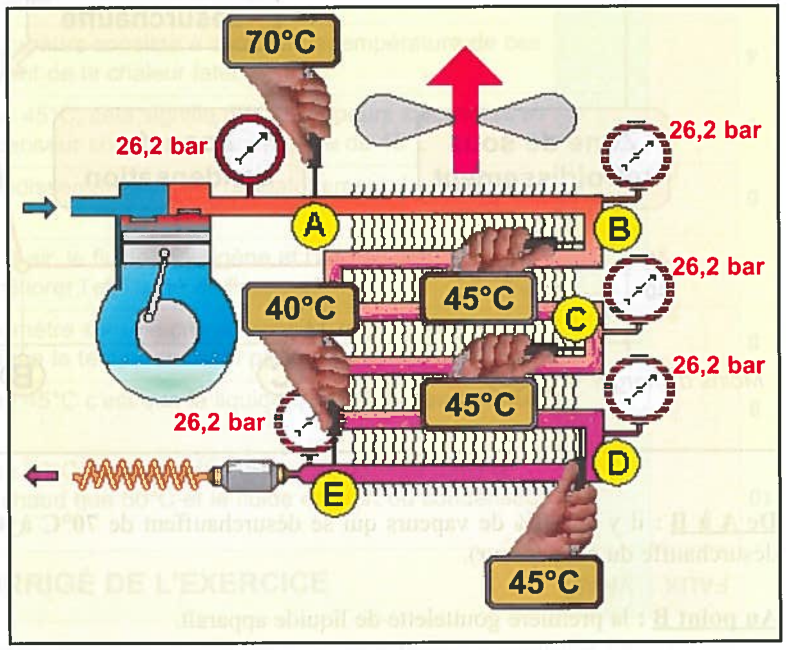
La zone compris entre les points **D** et E s'appelle la **zone d sous-refroidissement**.

Quand le liquide es sous refroidi à la sorti du condenseur, on alors la certitud absolue qu'il y a bie 100% de liquide dan le tube. Le sou refroidissement es donc ***un indice tr précieux*** pour établ un diagnostic lors d'u dépannage. Nous e reparlerons souvent !

Nous verrons plus tard comment mesurer et interpréter la valeur du sous-refroidissement. Pour l'instant, l'important est de savoir ce qu'il représente.

Fonctionnement du condenseur du côté fluide frigorigène : Résumé.

Le manomètre HP monté au refoulement du compresseur indique **26,2 bar**. Cette pression est identique en chacun des points du circuit HP.



Le manomètre HP indique également 45°C sur l'échelle des températures du R410A. Cela signifie uniquement que le palier de condensation se produit à 45°C.

__Point A__ : Les vapeurs de R410A, surchauffées à environ 70°C, quittent le refoulement du compresseur et pénètrent dans le condenseur à une pression de **26,2 bar**.

__Entre A et B__ : Les vapeurs se désurchauffent de 70 à 45°C à pression constante.

__Point B__ : La première gouttelette de R410A liquide apparaît. La température est égale à 45°C et la pression est toujours d'environ **26,2 bar**.

__Entre B et D__ : Les vapeurs de R410A continuent à se condenser. Au fur et à mesure que le mélange de liquide et de vapeurs s'approche du point **D**, il y a de *plus en plus de liquide* et *de moins en moins de vapeurs*. La pression et la température restent rigoureusement constantes à **26,2 bar** et **45°C**.

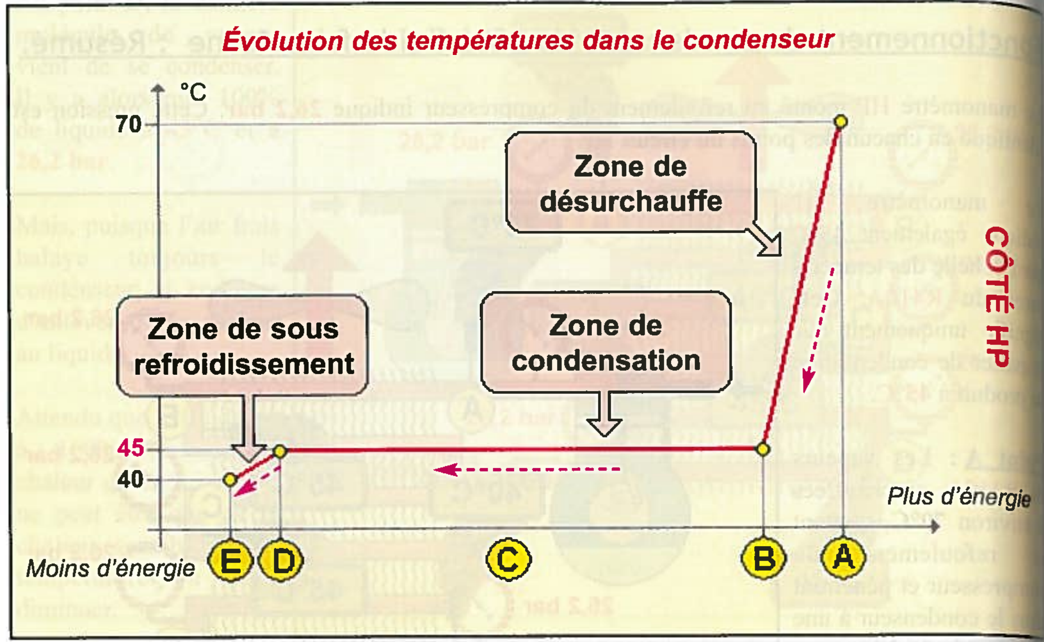
Notez qu'en plaçant un thermomètre au point C, situé à peu près au milieu du condenseur, la température mesurée correspondrait à celle du palier de condensation (soit 45°C dans notre exemple).

__Point D__ : La dernière molécule de vapeur se condense à 45°C et 26,2 bar. **Il y a alors *pile* 100% de liquide** et **le palier de condensation est terminé.**

__Entre D et E__ : Le R410A étant complètement à l'état liquide, il se sous refroidi au contact de l'air qui ventile le condenseur : c'est la zone de sous refroidissement.

__Point E__ : A la sortie du condenseur, la pression est toujours d'environ **26,2 bar** mais la température du liquide a diminué par exemple jusqu'à 40°C. **On dit alors que le liquide est sous refroidi de 45 - 40 = 5°C.**

L'évolution du fluide dans le condenseur peut également être schématisée de la manière suivante



De A à B : il y a 100% de vapeurs qui se désurchauffent de **70°C** à **45°C** (**A-B** est la zone de désurchauffe du condenseur).

Au point B : la première gouttelette de liquide apparaît.

De B à D : il y a un mélange de liquide et de vapeurs à **45°C** et **26,2 bar**. Ce mélange est appelé vapeurs saturantes (**B-D** est la zone de condensation du condenseur).

Au point D : la dernière molécule de vapeur se condense. Il y a alors 100% de liquide.

De D à E : c'est dans cette zone, située dans le bas du condenseur, que se produit le sous-refroidissement du liquide de **45°C** à **40°C** (**D-E** est la zone de sous-refroidissement du condenseur).



Le fluide entre dans le condenseur à 70°C
et en sort à 40°C. Pendant tout ce temps, la pression
et la température du R410A lues sur le manomètre
sont restées rigoureusement constantes à 26,2 bar et 45°C.

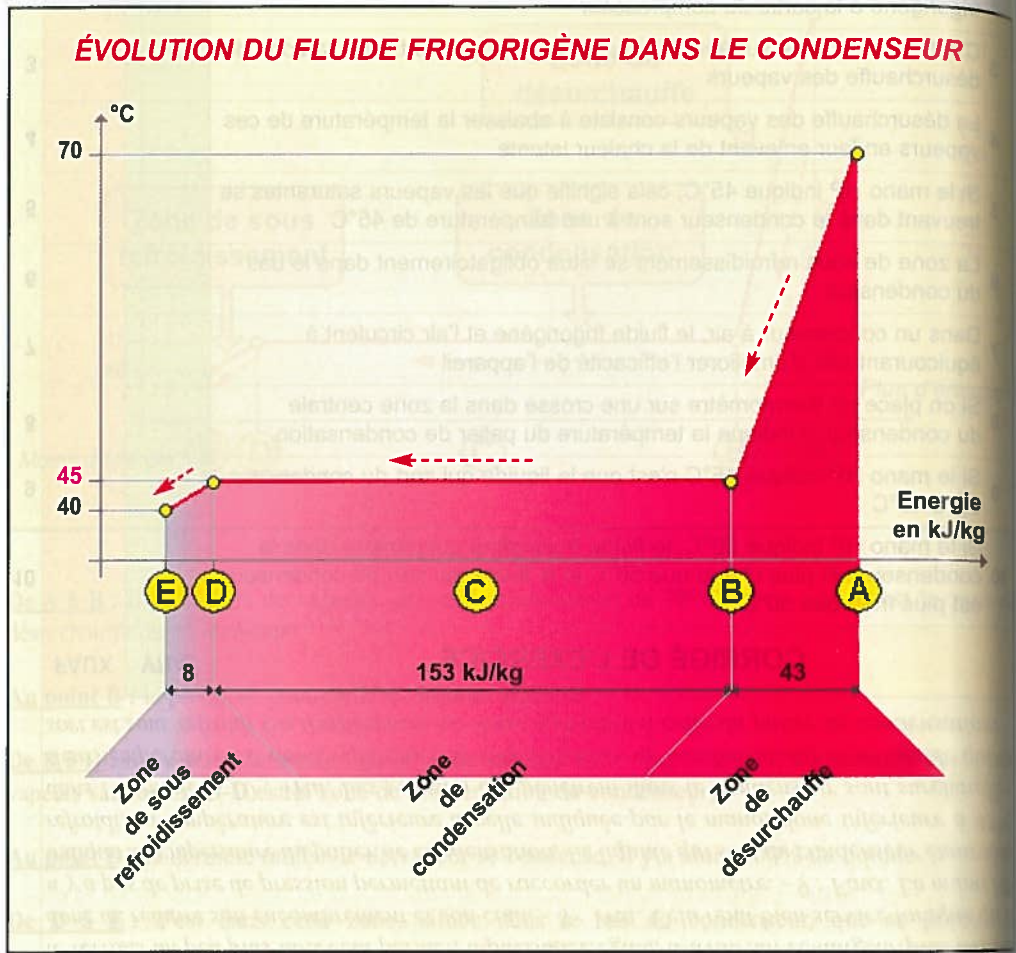
N'oubliez donc surtout pas que la température lue sur le manomètre indique uniquement celle du palier de condensation.

	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°11 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX	
1	Dans un condenseur, l'entrée du fluide frigorigène doit obligatoirement se faire par le haut de l'appareil			1
2	Le manomètre HP indique la pression et la température du fluide frigorigène à la sortie du compresseur			2
3	C'est dans la partie supérieure du condenseur que se trouve la zone de désurchauffe des vapeurs			3
4	La désurchauffe des vapeurs consiste à abaisser la température de ces vapeurs en leur enlevant de la chaleur latente			4
5	Si le mano HP indique 45°C, cela signifie que les vapeurs saturantes se trouvant dans le condenseur sont à une température de 45°C			5
6	La zone de sous refroidissement se situe obligatoirement dans le bas du condenseur			6
7	Dans un condenseur à air, le fluide frigorigène et l'air circulent à équicourant afin d'améliorer l'efficacité de l'appareil			7
8	Si on place un thermomètre sur une crosse dans la zone centrale du condenseur, il indique la température du palier de condensation			8
9	Si le mano HP indique 45°C c'est que le liquide qui sort du condenseur est à 45°C			9
10	Si le mano HP indique 50°C, le fluide frigorigène qui pénètre dans le condenseur est plus chaud que 50°C et le fluide qui sort du condenseur est plus froid que 50°C			10
	CORRIGÉ DE L'EXERCICE	VRAI	FAUX	

1 : Vrai. Et comme le liquide descend par gravité, on le récupère dans le bas de l'appareil. - 2 : Faux. Le mano au refoulement du compresseur mesure bien la pression HP mais la température correspondante n'est absolument pas égale à la température de refoulement : c'est la température du palier de condensation. - 3 : Vrai. C'est dans cette zone que la température de refoulement du fluide est abaissée jusqu'à atteindre la température de condensation. - 4 : Faux. Si la désurchauffe abaisse bien la température des vapeurs, il ne s'agit pas de chaleur latente mais de chaleur sensible. - 5 : Vrai. Et le mélange liquide-vapeur reste à 45°C pendant toute la durée du palier de condensation. - 6 : Vrai. Puisque le liquide descend par gravité dans le bas du condenseur - 7 : Faux. Les 2 fluides circulent à contre courant car, comme nous le verrons un peu plus tard cela permet, à puissance égale, d'avoir un échangeur plus petit et donc de réduire son encombrement et son coût. - 8 : Vrai. Cela rend bien service lorsque qu'il n'y a pas de prise de pression permettant de raccorder un manomètre. - 9 : Faux. Le mano HP indique la température du palier de condensation. Le liquide qui sort du condenseur étant sous refroidi, sa température est inférieure à celle indiquée par le mano, donc inférieure à 45°C dans l'exemple. - 10 : Vrai. Les vapeurs qui pénètrent dans le condenseur sont surchauffées (leur température est donc supérieure à celle du palier de condensation) et le liquide qui en sort est sous refroidi (sa température est donc inférieure à celle du palier de condensation).

Maintenant, regardons ce qui se passe du côté de l'air.

Auparavant, afin alimenter votre réflexion, le diagramme suivant vous permettra d'avoir une bonne idée des différentes quantités d'énergie que le fluide frigorigène cède à l'air en traversant le condenseur.



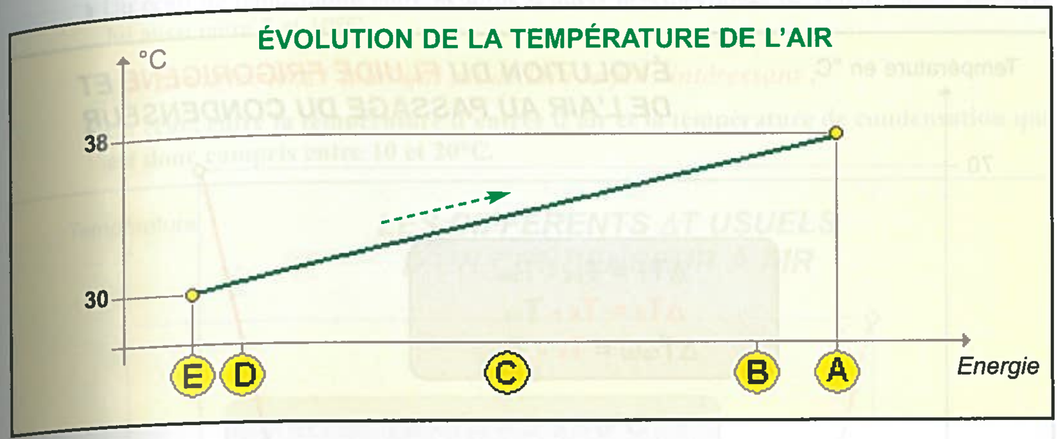
Vous pouvez constater qu'il faut enlever environ 43 kJ pour désurchauffer 1 kg de R410A de 70 à 45°C (entre **A** et **B**). Par contre, il suffit d'enlever 8 kJ pour sous refroidir 1 kg de liquide de 5°C (entre **D** et **E**) mais il faut enlever 153 kJ pour condenser 1 kg de fluide entre **B** et **D** !

La puissance du condenseur utilisée *uniquement pour la condensation* (donc à température constante) représente donc près de 75% de sa puissance totale.

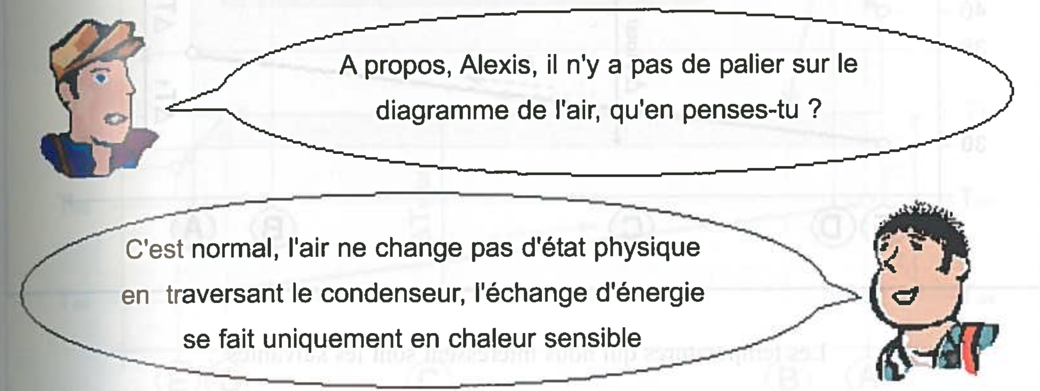
Cela signifie aussi que près de 75% du volume du condenseur est rempli de vapeurs saturantes (c'est-à-dire d'un mélange de liquide et de vapeurs) à 45°C.

Vous devriez mieux comprendre pourquoi la température de condensation est la température de référence du côté haute pression.

A présent, en examinant le graphe ci-dessous, on constate que l'énergie cédée par le fluide frigorigène est absorbée en totalité par l'air qui traverse le condenseur.



C'est entre **B** et **D** (zone de condensation) que le fluide abandonne le maximum de chaleur : c'est donc là que l'air s'échauffe le plus !

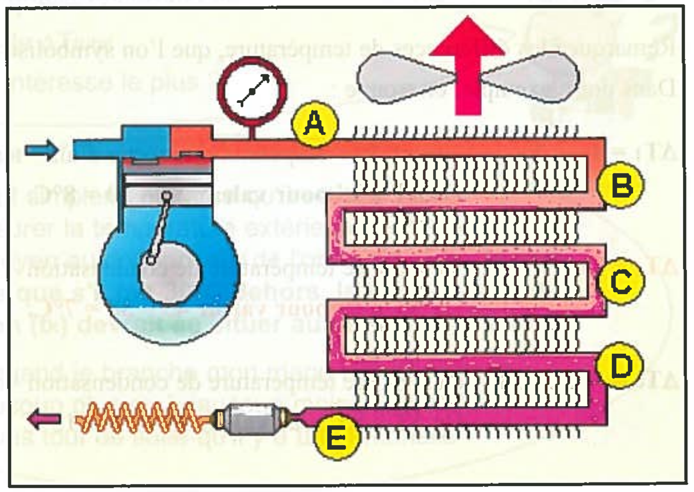


Effectivement, Alexis a raison, la température de l'air augmente progressivement au fur et à mesure de sa traversée du condenseur pour passer de 30°C à l'entrée à environ 38°C à sa sortie.

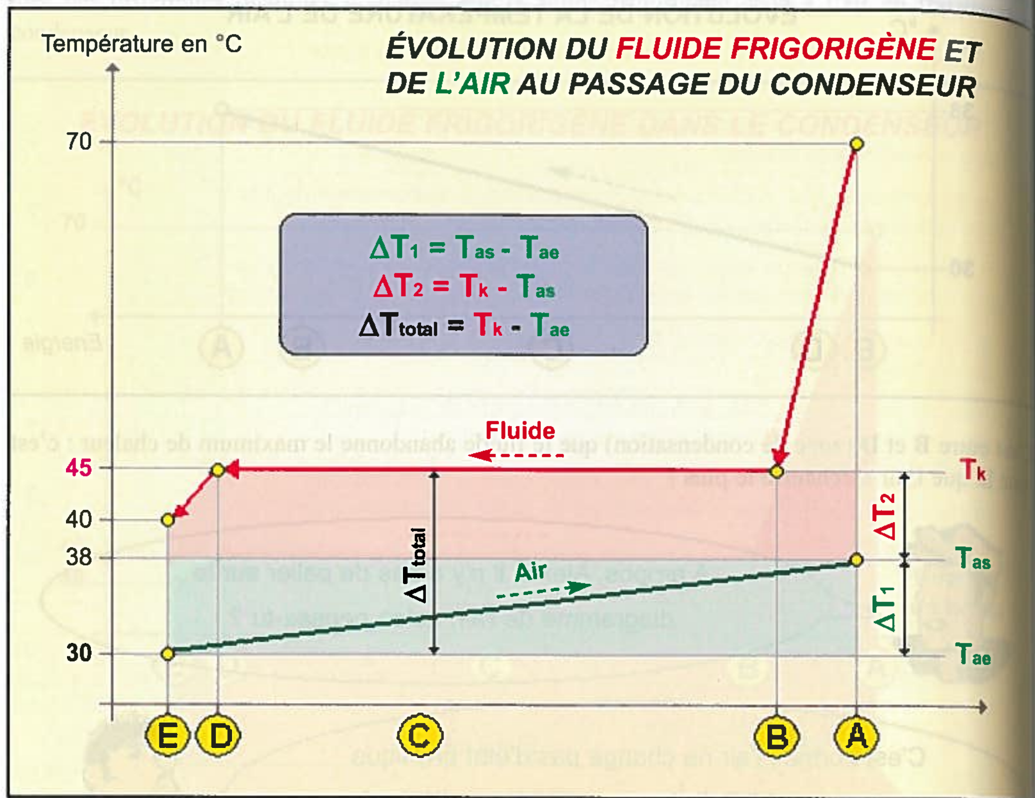
Remarquez également que l'air le plus froid pénètre dans le condenseur du côté du point **E** pour aller vers le point **A**.

L'air et le fluide frigorigène circulent donc à contre courant.

Rappelez-vous qu'à puissance égale, la circulation à contre courant permet de réduire la taille d'un échangeur de chaleur de manière significative.



La circulation à contre courant peut également s'observer sur le diagramme ci-dessous. Notez q[ue] le fluide frigorigène entre en **A** et sort en **E** (courbe rouge), tandis que l'air (courbe verte) fai[t le] contraire. *Examinons les différences de température en jeu :*



Les températures qui nous intéressent sont les suivantes :

T_k : Température de condensation du fluide frigorigène (donc température du palier
T_{ae} : Température de l'**a**ir à l'**e**ntrée du condenseur (température extérieure).
T_{as} : Température de l'**a**ir à la **s**ortie du condenseur.

Remarquez les différences de température, que l'on symbolise par **ΔT** (*delta T*).
Dans notre exemple, on trouve :

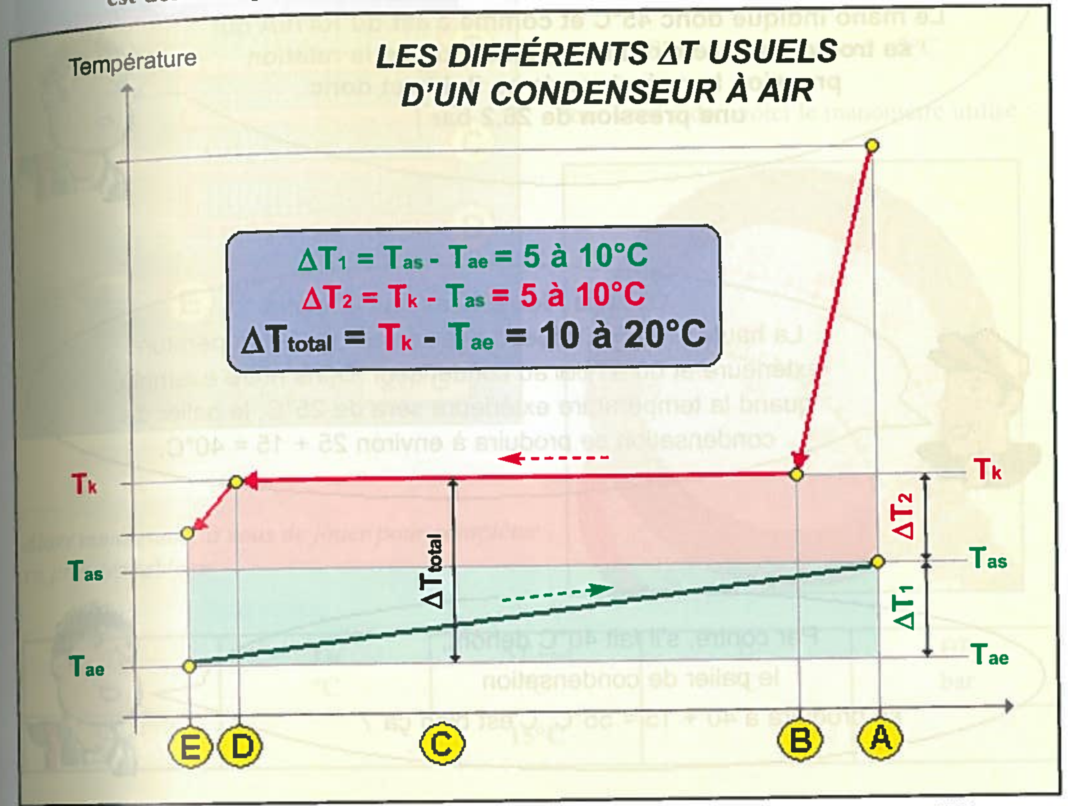
$\Delta T_1 = T_{as} - T_{ae}$ c'est-à-dire température de sortie d'air – température d'entrée d'air.
Ce ΔT a ici pour valeur 38 – 30 = 8°C.

$\Delta T_2 = T_k - T_{as}$ c'est-à-dire température de condensation – température de sortie d'air.
Ce ΔT a ici pour valeur 45 – 38 = 7°C.

$\Delta T_{total} = T_k - T_{ae}$ c'est-à-dire température de condensation – température d'entrée d'air.
Ce ΔT a ici pour valeur 45 – 30 = 15°C

D'une façon plus générale, on trouve sur les climatiseurs de confort usuels :
- Un écart de température entre l'entrée et la sortie d'air compris entre 5 et 10°C.
- Un écart de température entre la sortie d'air et la température de condensation compris lui aussi entre 5 et 10°C.

Et enfin, le ΔT total qui est de loin le plus intéressant :
- **Un écart entre la température d'entrée d'air et la température de condensation qui est donc compris entre 10 et 20°C.**





Mais, pour quelle raison est-ce le ΔTtotal qui nous intéresse le plus ?

Tout simplement parce qu'il est très facile de mesurer la température extérieure. Ainsi, avec un ΔTtotal moyen au condenseur de l'ordre de 15°C, **je sais par avance que s'il fait 30°C dehors, la température de condensation (tk) devrait se situer aux environs de 45°C !**

Alors, quand je branche mon mano HP, s'il indique beaucoup plus ou beaucoup moins que 45°C, je sais tout de suite qu'il y a une anomalie !



Alors, si j'ai bien compris, la pression de condensation, c'est-à-dire la HP, dépend de la température de l'air à l'entrée du condenseur. Dans notre exemple, il fait 30°C dehors et donc 30°C à l'entrée du condenseur. C'est pourquoi on condense à 30 + 15 = 45°C.

Le mano indique donc 45°C et comme c'est du R410A qui se trouve dans le circuit, l'aiguille indique la relation pression température de ce fluide et donc une pression de 26,2 bar !

C'est ça Alexis, tu as tout compris. La haute pression dépend directement de la température extérieure et du ΔT_{total} au condenseur. Dans notre exemple, quand la température extérieure sera de 25°C, le palier de condensation se produira à environ 25 + 15 = 40°C.

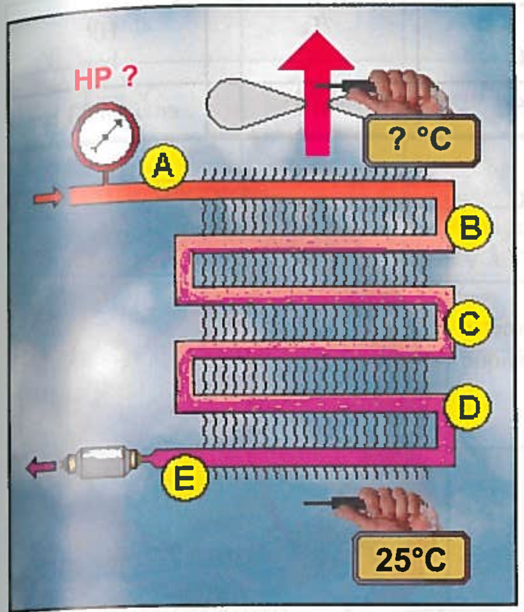
Par contre, s'il fait 40°C dehors, le palier de condensation se produira à 40 + 15 = 55°C. C'est bien ça ?

Absolument, et dans ces 2 cas, un ΔT_{total} au condenseur de 15°C étant parfaitement correct, la HP serait tout à fait normale.

Nous venons de voir l'essentiel du fonctionnement d'un condenseur à air et il est très important que vous compreniez parfaitement ce qui vient d'être dit avant de continuer.

Aussi, nous allons commencer par un petit exercice qui devrait vous permettre de vous rendre compte *par vous-même* si vous maîtrisez bien le sujet…

Sur l'installation ci-dessous fonctionnant au **R410A**, plusieurs relevés de température ont été effectués. Votre rôle consiste à retrouver les valeurs manquantes afin de compléter les 2 tableaux.



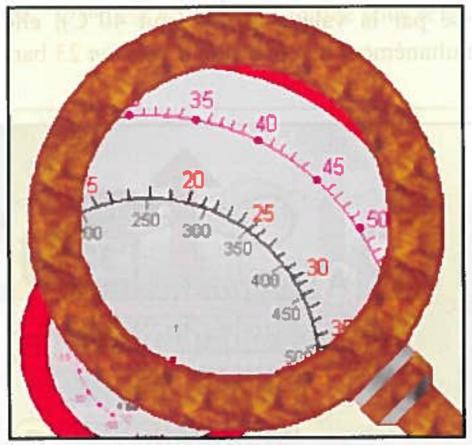
Température extérieure : **25°C**

ΔT_{total} au condenseur : **15°C**

ΔT sur l'air : **7°C**

Sous-refroidissement : **5°C**

Pour vous aider, voici le manomètre utilisé :



Alors maintenant, à vous de jouer pour compléter ce premier tableau

T_{ae} °C	T_{as} °C	ΔT_{total} °C	T_k °C	HP bar
25°C		15°C		

A présent, complétez ce second tableau :

Points	A	B	C	D	E
T en °C	65°C				
P en bar					
Etat (voir ci-dessous)					

État : indiquez **V** si le fluide est à l'état de **V**apeur surchauffée, **L** s'il est à l'état de **L**iquide sous refroidi et **VS** s'il est à l'état de **V**apeurs **S**aturantes.

Essayez de vous rendre compte par vous-même si vous maîtrisez bien le sujet avant de consulter le corrigé page suivante…

Corrigé de l'exercice :

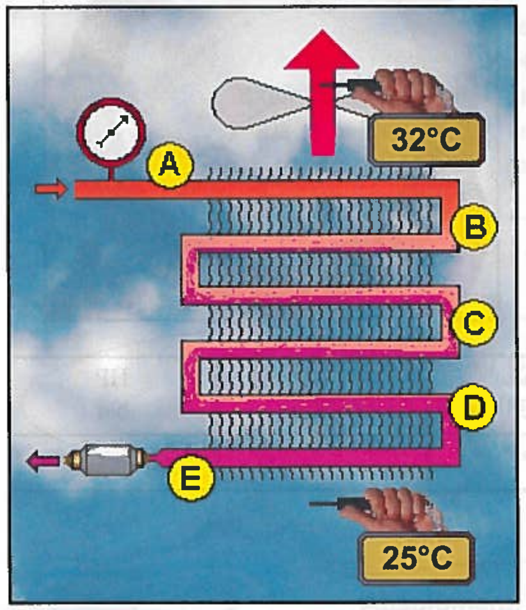
T_{ae} °C	T_{as} °C	ΔT total °C	T_k °C	HP bar
25°C	32°C	15°C	40°C	*environ* 23 bar

Valeur de $T_{as} = T_{ae} + \Delta T$ sur l'air = 25 + 7 = 32°C.

Valeur de $T_k = T_{ae} + \Delta T_{total}$ = 25 + 15 = 40°C.

Valeur de la HP : lorsque l'aiguille du manomètre passe par la valeur de Tk (soit 40°C), elle indique simultanément une pression *d'environ* 23 bar.





Au point A, le R410A est à l'état de vapeurs surchauffées (il y a donc 100% de vapeurs) et sa température est de 65°C.

La pression est de 23 bar et elle restera à cette valeur dans toute la partie HP (et donc également en B, C, D et E).

Au point B, les vapeurs se sont désurchauffées jusqu'à atteindre la température correspondant au palier de condensation, c'est-à-dire 40°C.

A ce moment, la première gouttelette de liquide apparaît. C'est alors le début du palier de condensation *et pendant toute la durée de ce palier* (c'est-à-dire de B à D), le fluide restera en vapeurs saturantes à 40°C.

Au point C, en plein milieu du condenseur, le R410A est toujours sur son palier de condensation, c'est-à-dire à l'état de vapeurs saturantes à 40°C.

Au point D, le R410A arrive à la fin du palier de condensation et la dernière molécule de vapeur se condense à 40°C et 23 bar. Il y a alors *pile* 100% de liquide.

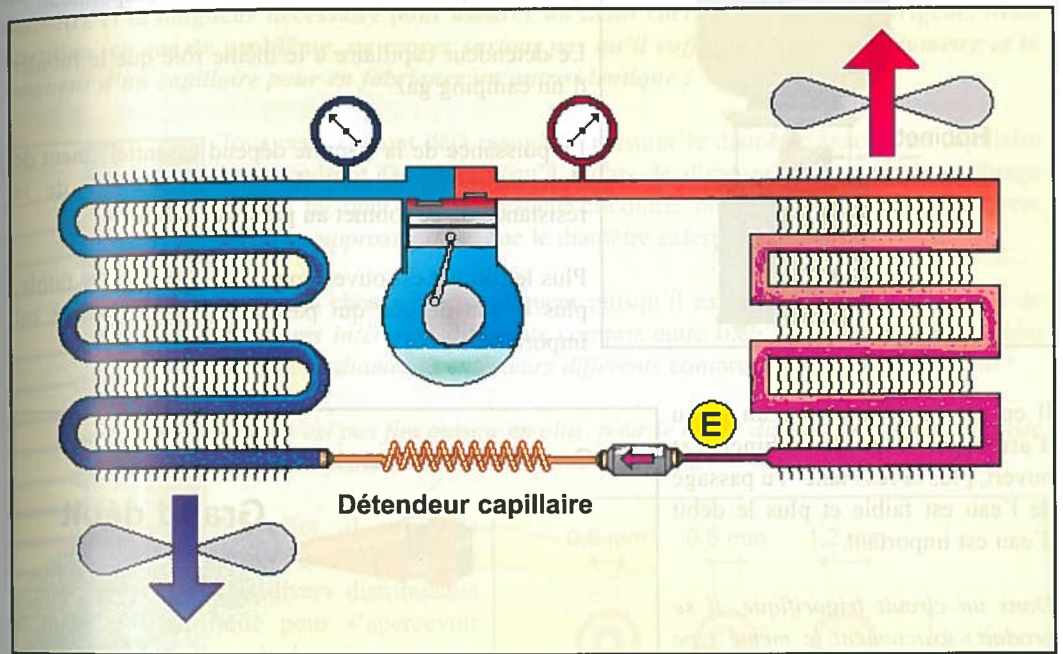
Au point E, le R410A liquide s'est sous-refroidi de 5°C entre D et E.

Sa température est alors égale à la température de condensation Tk moins la valeur du sous-refroidissement, soit : 40 - 5 = 35°C. La pression est restée constante depuis le début à 23 bar.

A présent, voici le second tableau tel que vous auriez dû le compléter :

Points	A	B	C	D	E
T en °C	65°C	40°C	40°C	40°C	35°C
P en bar	23 bar	23 bar	23 bar	23 bar	23 bar
Etat	V	Passage de V à VS	VS	Passage de VS à L	L

Etat : **V** si le fluide est à l'état de **V**apeur surchauffée, **L** s'il est à l'état de **L**iquide sous refroidi et **VS** s'il est à l'état de **V**apeurs **S**aturantes.



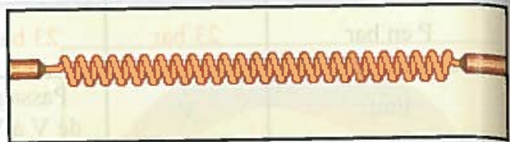
Le liquide frigorigène sous refroidi qui quitte le condenseur (en E) par la ligne liquide va maintenant arriver à haute pression à l'entrée du détendeur capillaire.

Si vous avez bien compris l'exercice que nous venons de corriger, nous pouvons maintenant envisager l'étude de ce type de détendeur d'un peu plus près…

Bases du Froid

LE DÉTENDEUR CAPILLAIRE : FONCTIONNEMENT NORMAL

Les petits climatiseurs de confort sont souvent équipés d'un détendeur dit « capillaire ». Il est réalisé avec un tube en cuivre de très petit diamètre, d'où son nom.



Mais attention, ce simple morceau de tube en cuivre à une fonction essentielle puisqu'il doit assurer un débit de fluide frigorigène correct dans tout le circuit. Ses caractéristiques ne doivent en aucun cas être modifiées.



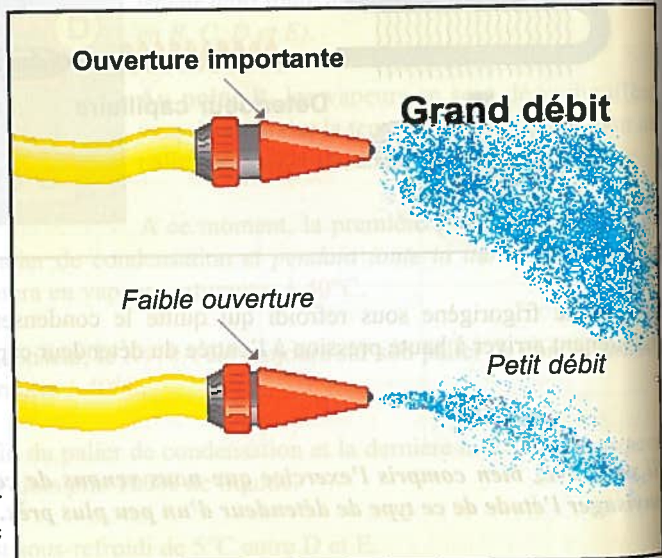
Malgré sa petite taille, le détendeur est aussi essentiel que le compresseur, le condenseur ou l'évaporateur.

Le détendeur capillaire a le même rôle que le robinet d'un camping gaz.

La puissance de la flamme dépend essentiellement de l'ouverture du robinet de gaz, c'est-à-dire de la résistance de ce robinet au passage du butane.

Plus le robinet est ouvert, plus sa résistance est faible, plus il y a de gaz qui passe et plus la flamme est importante.

Il en est de même pour un tuyau d'arrosage. Plus le robinet est ouvert, plus la résistance au passage de l'eau est faible et plus le débit d'eau est important.

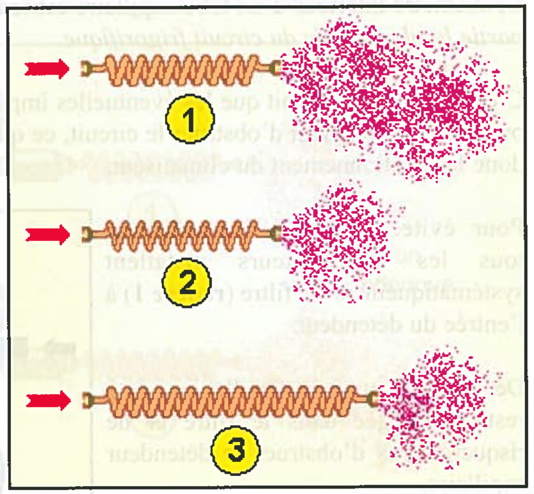


Dans un circuit frigorifique, il se produit exactement le même type de phénomène.

Le débit de liquide qui traverse le détendeur dépend lui aussi de la résistance du capillaire au passage du fluide.

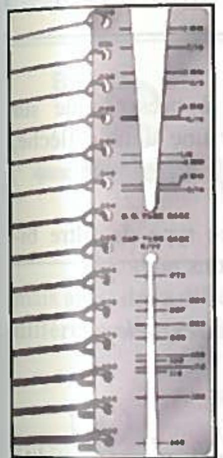
En ce qui concerne le détendeur capillaire, il se passe donc exactement la même chose. Le débit de liquide qui le traverse dépend de la résistance qu'il oppose au passage du fluide. Cependant, contrairement à un robinet, le détendeur capillaire n'est pas réglable. Il est simplement réalisé avec un tube de cuivre très long et très fin.

La résistance du capillaire dépend de son diamètre. Les 2 capillaires repérés **1** et **2** ont *exactement la même longueur* mais le diamètre 2 est beaucoup plus petit : sa résistance au passage du fluide étant plus élevée, son débit est plus faible.



La résistance du capillaire dépend de sa longueur. Les 2 capillaires repérés **1** et **3** ont *exactement le même diamètre* mais la longueur 3 est beaucoup plus grande : sa résistance au passage du fluide étant plus élevée, son débit est également plus faible.

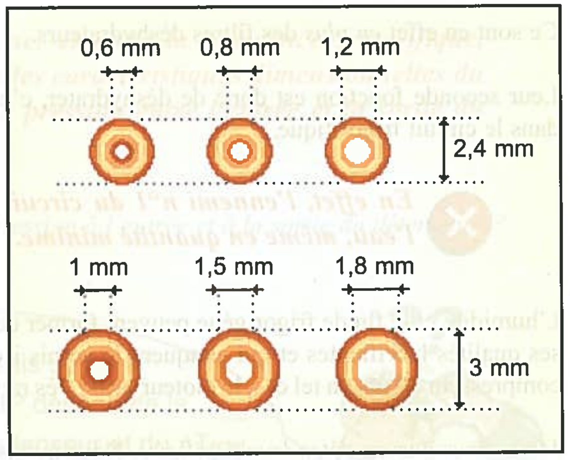
Quand un fabricant installe un capillaire dans un appareil, il a soigneusement déterminé le diamètre et la longueur nécessaire pour assurer un débit correct de fluide frigorigène. Mais attention, en cas de problème, *ne croyez surtout pas qu'il suffit de mesurer le diamètre et la longueur d'un capillaire pour en fabriquer un autre identique !*



Tous ceux qui ont déjà essayé de mesurer le diamètre exact d'un capillaire comprendront facilement, qu'à moins de disposer d'un outil de calibrage spécial tel que celui représenté ci-contre, on ne pourra mesurer, souvent *de façon approximative*, que le diamètre extérieur.

Et là, les choses se compliquent puisqu'il existe au moins une dizaine de *diamètres intérieurs* différents compris entre 0,66 et 2,29 mm ainsi qu'une dizaine *de diamètres extérieurs différents* compris entre 1,83 et 4,76 mm !

Et ce n'est pas fini puisqu'en plus, pour le même diamètre extérieur, il existe plusieurs possibilités de diamètres intérieurs !



En effet, il suffit de feuilleter le catalogue des divers distributeurs de matériel frigorifique pour s'apercevoir qu'il existe du capillaire de diamètre extérieur 2,4 mm, avec un diamètre intérieur *soit* de 0,6 mm, *soit* de 0,8 mm, *soit* de 1,2 mm.

De même, en diamètre extérieur 3 mm, il existe du capillaire avec un diamètre intérieur *soit* de 1 mm, *soit* de 1,5 mm, *soit* de 1,8 mm !

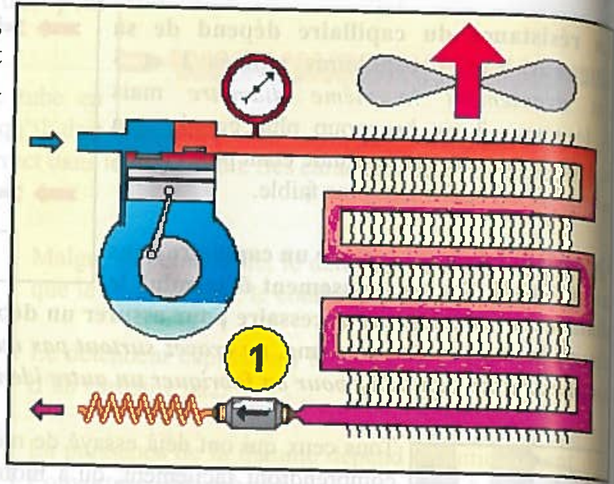
Que de risques d'erreur !

Tirez-en dès à présent une leçon : si vous devez un jour remplacer un capillaire, il vaut mieux en acheter un d'origine chez le fabricant de l'appareil. Vous-vous éviterez bien des ennuis !

Le diamètre intérieur d'un tube capillaire est toujours très faible (0,6 mm par exemple) : *c'est la partie la plus étroite du circuit frigorifique.*

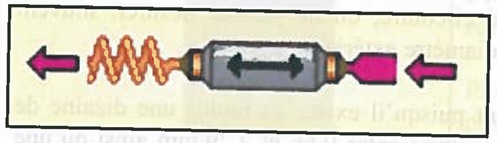
C'est donc à cet endroit que les éventuelles impuretés (copeau de cuivre, grain de décapant ou de brasure, etc.) risquent d'obstruer le circuit, ce qui gênerait ou empêcherait le passage du fluide et donc le fonctionnement du climatiseur.

Pour éviter une telle mésaventure, tous les constructeurs installent systématiquement un filtre (**repère 1**) à l'entrée du détendeur.



De la sorte, une éventuelle impureté resterait piégée dans le filtre et ne risquerait pas d'obstruer le détendeur capillaire.

Attention, les filtres ont généralement un sens de passage indiqué par une flèche. Ce sens doit alors être impérativement respecté.



A titre informatif, notez dès à présent que sur certains filtres on peut trouver une double flèche comme ci-contre.

Le fluide peut alors circuler dans les deux sens sans aucun problème (ce type de filtre bi-directionnel est surtout utilisé sur les appareils réversibles et nous en reparlerons *page 358*.

Mais tous ces filtres, quelle que soit leur technologie, ont une autre fonction essentielle.

Ce sont en effet *en plus* des filtres déshydrateurs.

Leur seconde fonction est donc de déshydrater, c'est-à-dire d'enlever toute présence d'humidité dans le circuit frigorifique.

En effet, l'ennemi n°1 du circuit frigorifique (et donc le vôtre) est l'eau, même en quantité minime.

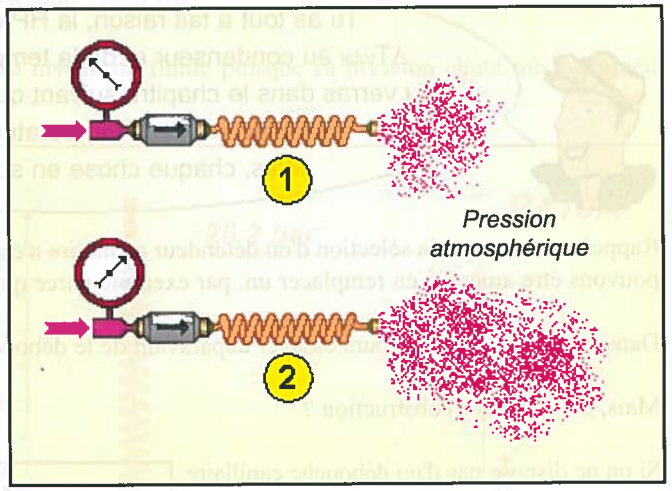
L'humidité et le fluide frigorigène peuvent former des acides dévastateurs qui font perdre à l'huile ses qualités lubrifiantes et qui attaquent le vernis isolant des bobinages électriques du moteur du compresseur : dans un tel cas, le moteur grille très rapidement et c'est le début de nombreux ennuis.

Mais, revenons au détendeur capillaire. Nous avons vu que le débit de liquide qu'il laisse passer dépend de sa longueur (plus la longueur augmente et moins il passe de liquide) et de son diamètre intérieur (plus le diamètre diminue et moins il passe de liquide).

Ne verriez-vous pas un autre paramètre qui pourrait influencer le débit ?

Prenons 2 tubes capillaires avec rigoureusement la même longueur et le même diamètre intérieur.

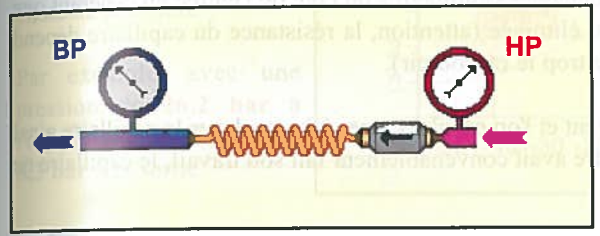
Dans le cas n°1 ci-contre, la pression à l'entrée du capillaire est plutôt faible. Le débit de liquide qui en sort est peu important.



Dans le cas n°2, la pression à l'entrée du capillaire est beaucoup plus élevée.

La force qui pousse le liquide dans le tube étant plus grande, on comprend facilement que le débit de liquide est alors beaucoup plus important que dans le cas précédent.

Nous venons de constater une notion très importante : le débit de liquide varie également en fonction de la pression à l'entrée du détendeur.

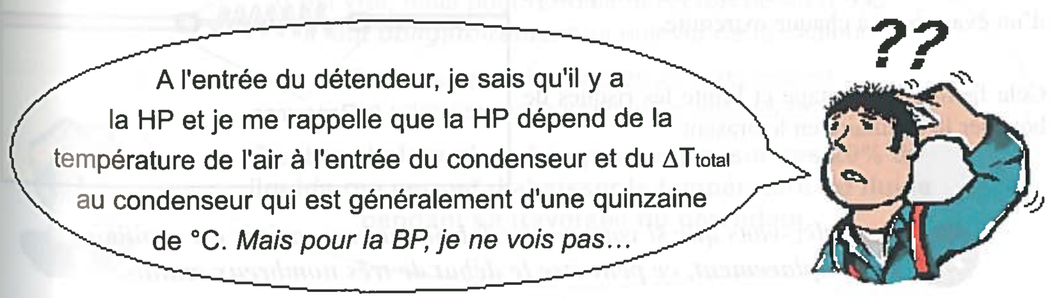


Pour être précis, le débit varie en fonction de la différence de pression entre l'entrée et la sortie du tube.

Ainsi, le débit de fluide frigorigène qui traverse le détendeur dépend des caractéristiques dimensionnelles du tube utilisé (diamètre intérieur et longueur), mais aussi de la différence de pression entre l'entrée et la sortie de ce détendeur, **c'est-à-dire de la différence entre la HP et la BP.**

Le débit de fluide frigorigène, et donc la puissance frigorifique, dépendent de deux facteurs : les caractéristiques dimensionnelles du détendeur et la différence de pression entre l'entrée et la sortie du capillaire.

Mais savez-vous comment se décide la pression à l'entrée et à la sortie du détendeur ?





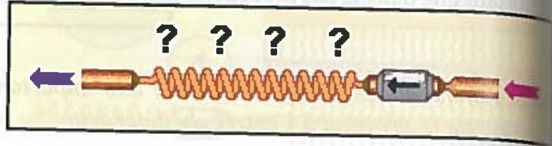
Tu as tout à fait raison, la HP dépend bien du ΔT_{total} au condenseur et de la température extérieure.
Tu verras dans le chapitre suivant que la BP se détermine en fonction de la température intérieure.
Mais, chaque chose en son temps…

Rappelons-nous que la sélection d'un détendeur capillaire n'est pas une chose facile. Pourtant, nous pouvons être amené à en remplacer un, par exemple parce qu'il est bouché.

Dans ce cas, on peut toujours essayer auparavant de le déboucher.

Mais, où se trouve l'obstruction ?

Si on ne dispose pas d'un débouche capillaire (c'est une pompe manuelle qui permet d'injecter de l'huile sous très forte pression), on peut souffler de l'azote à contre sens.

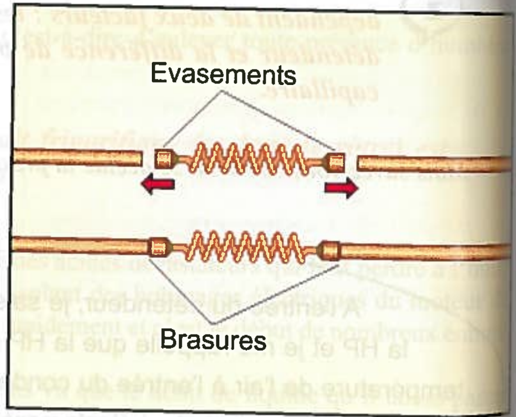


On peut aussi essayer de le raccourcir de quelques centimètres du côté de l'entrée en espérant qu l'obstruction s'y trouve et qu'elle sera ainsi éliminée (attention, la résistance du capillaire dépend de sa longueur et il est hors de question de trop le raccourcir).

Malheureusement, cela ne réussit pas souvent et l'on est alors amené à remplacer le capillaire ains que le filtre déshydrateur (en effet, si le filtre avait convenablement fait son travail, le capillaire ne serait pas bouché).

Si l'on dispose d'un capillaire d'origine, fourni par le fabricant de l'appareil défectueux et correspondant au modèle exact du capillaire bouché, l'opération est relativement simple à réaliser.

La meilleure méthode consiste à relever les références exactes de l'appareil puis à commander le capillaire correspondant chez votre fournisseur.



De plus un détendeur capillaire acheté chez le fabricant de l'appareil est très souvent pourvu d'un évasement à chaque extrémité.

Cela facilite le montage et limite les risques de boucher le capillaire en le brasant.

Rappelez-vous que si vous voulez fabriquer vous-même un capillaire de remplacement, ce peut être le début de très nombreux ennuis.

Nous venons de voir comment le débit de fluide frigorigène évolue dans un détendeur capillaire en fonction de ses dimensions et des pressions HP et BP.

Mais que se passe-t-il exactement au niveau du fluide puisque sa pression chute très fortement entre l'entrée et la sortie ?

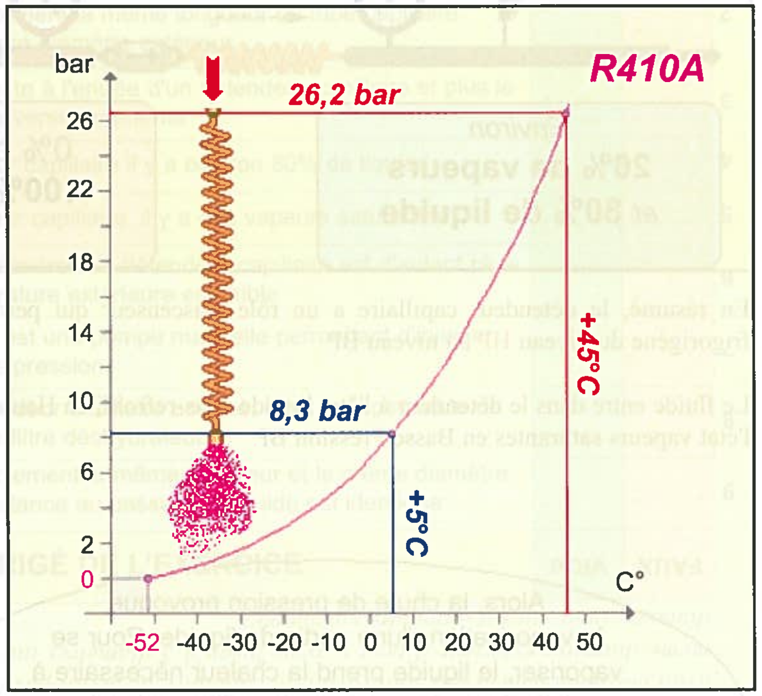
La détente d'un fluide est exactement l'effet inverse de la compression.

Nous avons vu que pendant sa compression, le R410A s'échauffe.

Pendant sa détente, il se refroidit.

Selon sa longueur et son diamètre déterminés par le constructeur, le capillaire provoque une certaine chute de pression.

Par exemple, avec une pression de **26,2 bar** à l'entrée, la pression chute à **8,3 bar** à la sortie.





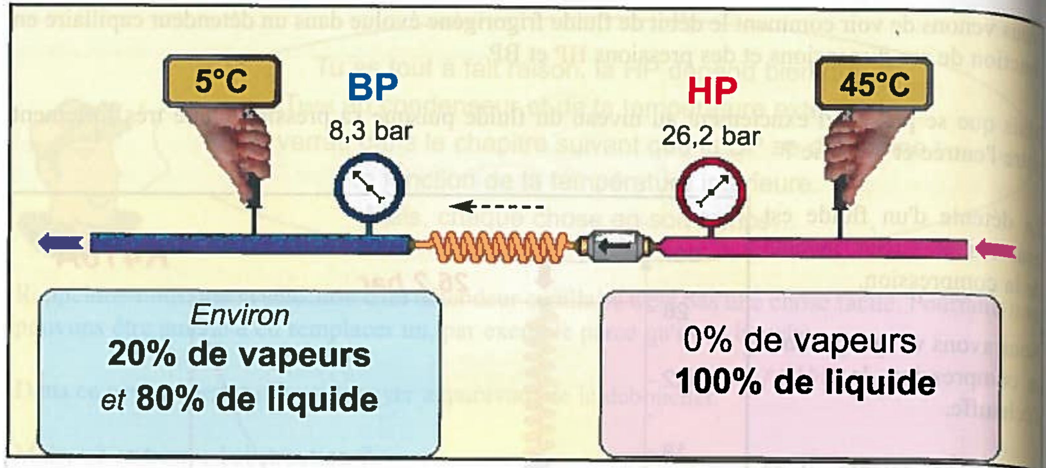
OK, et comme la pression n'est plus que de 8,3 bar, le liquide se retrouve à 5°C à cause de la relation pression-température du R410A.



C'est vrai, mais pour refroidir le R410A de 45 à 5°C, il faut ***obligatoirement*** lui enlever de la chaleur.

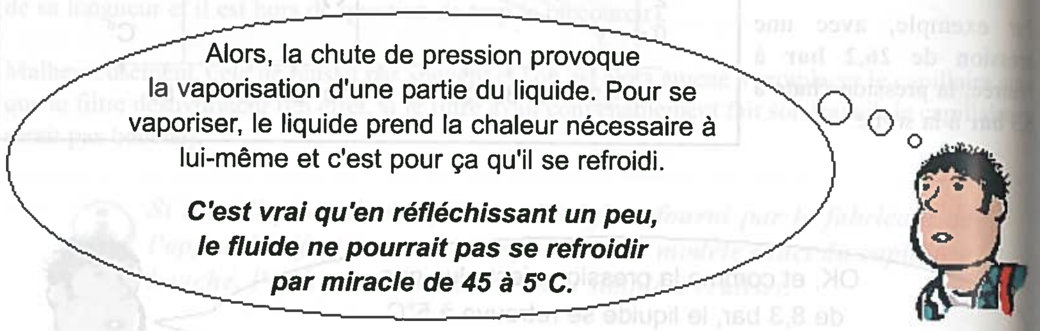
C'est pourquoi à peu près 20% du liquide se vaporise en traversant le détendeur.

C'est la chaleur absorbée pour vaporiser ces 20% de liquide qui permet d'abaisser la température du fluide pendant sa traversée du détendeur.



En résumé, le détendeur capillaire a un rôle d'ascenseur qui permet de descendre le fluide frigorigène du niveau HP au niveau BP.

Le fluide entre dans le détendeur à l'état liquide sous-refroidi en Haute Pression HP et en ressort à l'état vapeurs saturantes en Basse Pression BP.



Dans tous les cas, si la température de l'air varie à l'entrée du condenseur ou de l'évaporateur, la HP et la BP vont également varier. Ces variations entraînent des modifications du débit de fluide frigorigène et de la puissance frigorifique de l'appareil.

Pour éviter trop de mésaventures, il est impératif de respecter les conditions d'utilisation prévues par le constructeur, sinon vous risqueriez de perdre le bénéfice de la garantie.

Nous étudierons un peu plus loin une documentation type de constructeur et nous reviendrons plus en détails sur les risques d'un non respect des conditions d'utilisation.

EXERCICE DE SYNTHÈSE n°12 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX	
1 Pour réduire le débit de fluide qui traverse un détendeur capillaire, il suffit de diminuer sa longueur			1
2 Remplacer un détendeur capillaire est une opération délicate. Il est impératif d'utiliser exactement la même longueur de tube capillaire avec exactement le même diamètre extérieur			2
3 Plus la pression augmente à l'entrée d'un détendeur capillaire et plus le débit de liquide qui le traverse augmente			3
4 A l'entrée d'un détendeur capillaire il y a environ 80% de liquide			4
5 A la sortie d'un détendeur capillaire, il y a des vapeurs saturantes			5
6 Le débit de liquide qui traverse un détendeur capillaire est d'autant plus important que la température extérieure est faible			6
7 Un débouche capillaire est une pompe manuelle permettant d'injecter de l'huile sous très forte pression			7
8 Si on remplace un détendeur capillaire bouché, il est indispensable de remplacer également le filtre déshydrateur			8
9 Si 2 capillaires ont exactement la même longueur et le même diamètre extérieur alors leur résistance au passage du fluide est identique			9

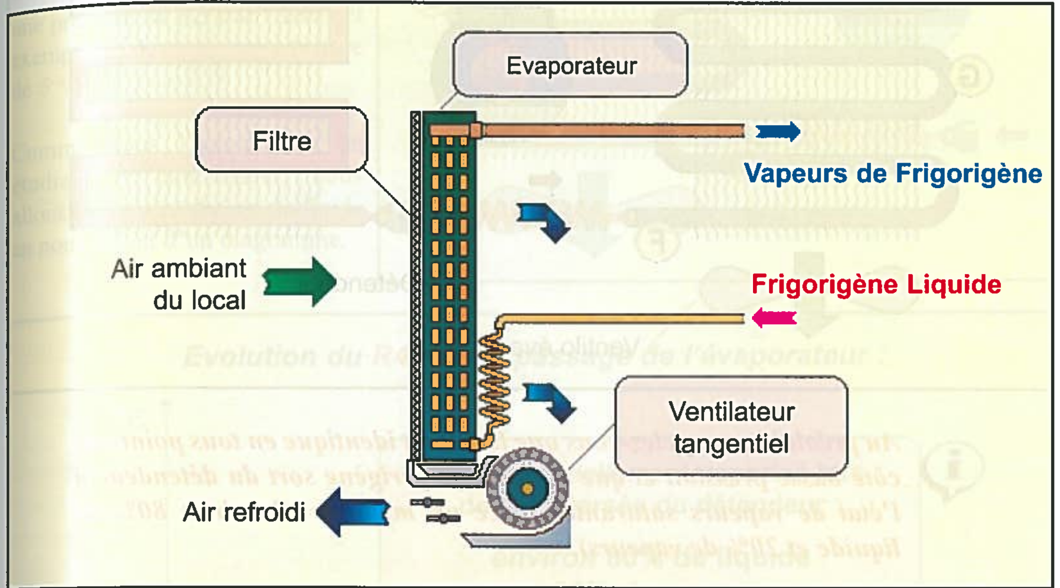
CORRIGÉ DE L'EXERCICE	VRAI	FAUX

1 : Faux. C'est le contraire. Si on raccourci un capillaire, il oppose moins de résistance au passage du fluide et le débit qui le traverse augmente obligatoirement. - 2 : Faux. Seul le diamètre intérieur compte et dans tous les cas, il est préférable d'acheter un capillaire d'origine chez le fabricant. - 3 : Vrai. Toute augmentation de la HP a pour conséquence une augmentation du débit de fluide qui traverse le capillaire. - 4 : Faux. A l'entrée d'un détendeur capillaire il y a du liquide sous refroidi, c'est-à-dire 100% de liquide. - 5 : Vrai. Il y a un mélange d'environ 80% de liquide et 20% de vapeurs. Or, les vapeurs saturantes sont des vapeurs en contact avec le liquide (qui leur a donné naissance). - 6 : Faux, c'est le contraire. Quand la température extérieure diminue, la HP diminue (pensez au ΔT_{total} au condenseur) et si la HP diminue, le débit de liquide diminue. - 7 : Vrai. On utilise de l'huile car rappelez-vous que l'eau est l'ennemi mortel du frigoriste - 8 : Vrai. Si ce filtre placé à l'entrée du capillaire avait convenablement fait son travail, le capillaire ne serait pas bouché. - 9 : Faux. Pour le même diamètre extérieur il peut y avoir jusqu'à 3 diamètres intérieurs différents (et seul le diamètre intérieur est à prendre en compte).

Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

L'ÉVAPORATEUR : FONCTIONNEMENT NORMAL

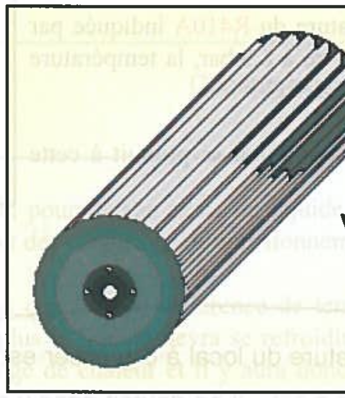
L'évaporateur est un échangeur de chaleur qui fonctionne selon le même principe que le condenseur. Son rôle est de permettre le meilleur échange de chaleur possible entre l'air du local à climatiser et le fluide frigorigène circulant à l'intérieur des tubes.



L'air ambiant cède de la chaleur au fluide frigorigène en traversant l'évaporateur. Le liquide se vaporise donc à l'intérieur des tubes en absorbant la chaleur perdue par l'air tandis que celui-ci est simultanément refroidi. Remarquez qu'à l'identique du condenseur, le **fluide frigorigène et l'air circulent à contre courant** afin d'optimiser l'échange de chaleur.

La circulation de l'air dans le local à climatiser est très souvent assurée par un ventilateur tangentiel qui fonctionne selon le même principe qu'une roue à aube.

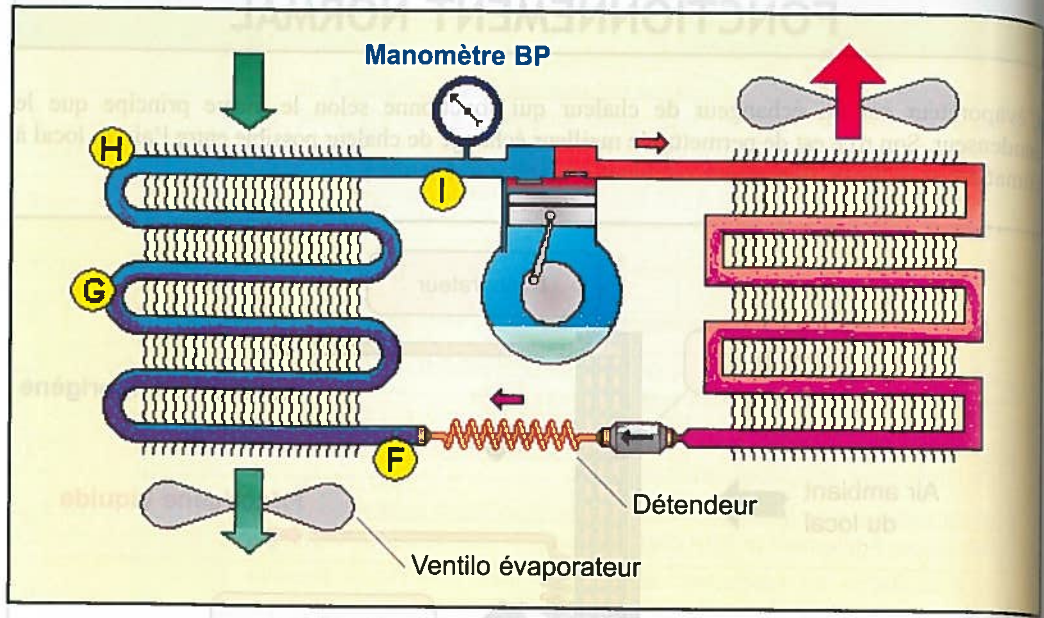
Ce type de ventilateur, *avec une turbine très longue mais de petit diamètre*, est particulièrement adapté au climatiseur de confort car il est très silencieux.



Remarquez que l'air ambiant passe sur un filtre avant de traverser l'évaporateur. Ce filtre doit être maintenu dans un parfait état de propreté. Nous aurons l'occasion d'en reparler mais sachez dès à présent que *l'encrassage du filtre est à l'origine de très nombreuses pannes.*

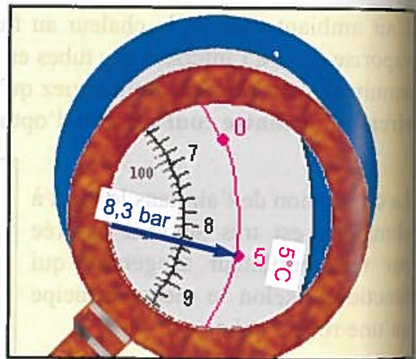
A présent, intéressons-nous au fluide frigorigène…

Pour étudier la traversée de l'évaporateur par le fluide frigorigène, nous utiliserons le schéma et les symboles ci-dessous :



Au préalable, rappelez-vous que la BP est identique en tous points du côté basse pression et que le fluide frigorigène sort du détendeur à l'état de vapeurs saturantes (avec un mélange d'environ 80% de liquide et 20% de vapeurs).

A présent, reprenons l'exemple de la fin du chapitre précédent et admettons que le manomètre BP indique une pression de 8,3 bar.

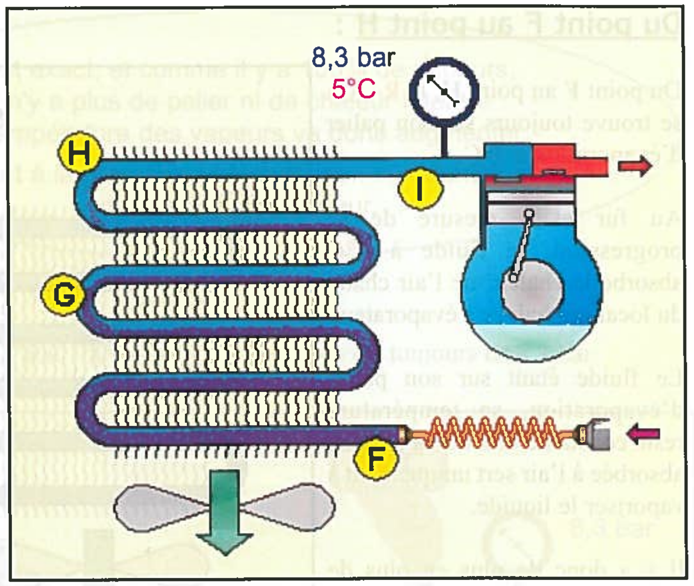


La relation pression-température du R410A indiquée par le manomètre nous confirme qu'à 8,3 bar, la température d'évaporation du R410A est de 5°C.

C'est dire que le palier d'évaporation se produit à cette même température



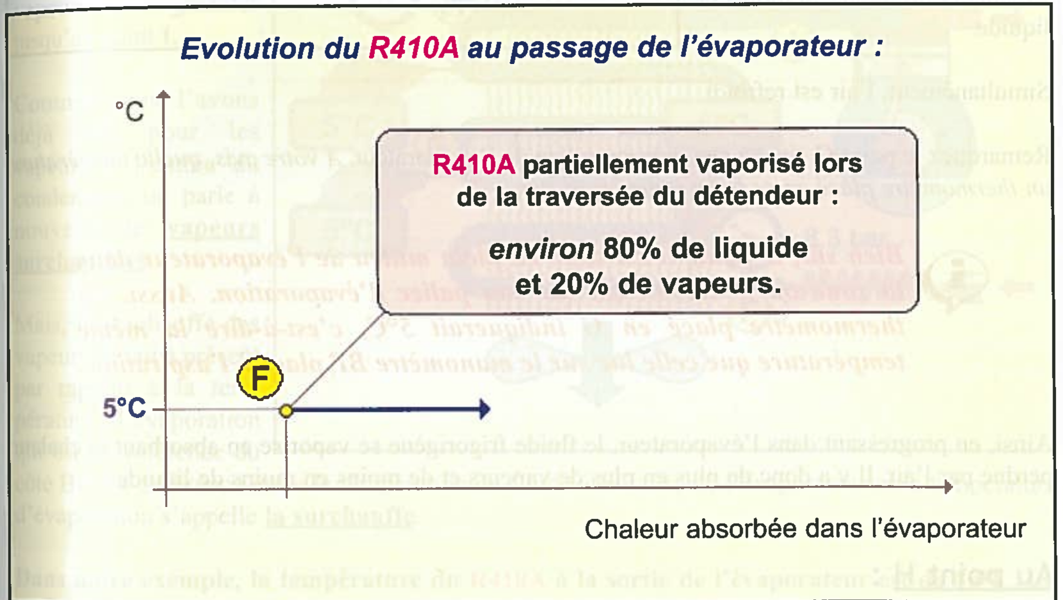
A présent, reprenons notre schéma et étudions en détails l'état du fluide aux différents points du circuit BP.



Point F :

Le mélange liquide / vapeurs de R410A sort du détendeur avec une pression de **8,3 bar** (dans cet exemple) et donc une température de **5°C**.

Comme nous l'avons fait en étudiant le condenseur, nous allons suivre l'évolution du fluide en nous aidant d'un diagramme.



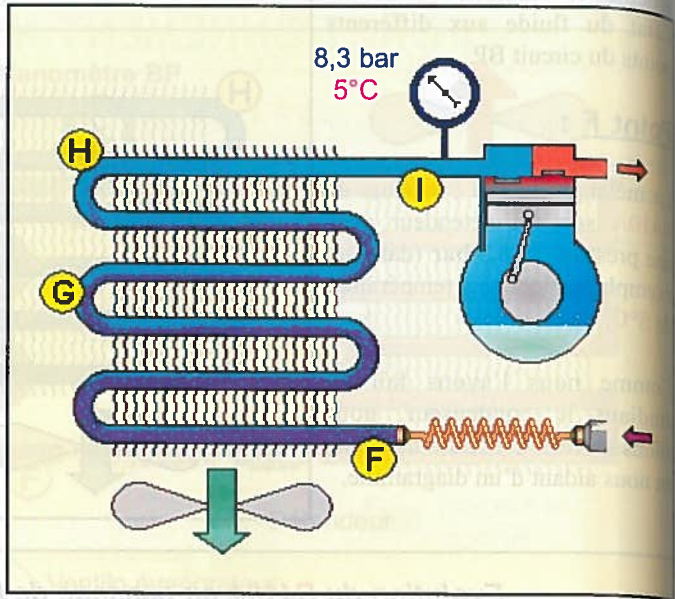
A noter : ne vous préoccupez pas du pourcentage exact de liquide et de vapeurs à la sortie du détendeur. En fait, il varie en fonction des conditions de fonctionnement.

Pour simplifier au maximum, disons que plus la différence de température entre l'entrée et la sortie du détendeur est importante, plus le liquide devra se refroidir. Pour refroidir davantage le liquide, il faudra lui enlever davantage de chaleur et il y aura donc davantage de liquide qui se vaporisera.

Ce qu'il est important de retenir, c'est que le fluide sort du détendeur à basse pression et à basse température, prêt à absorber de la chaleur à tout corps plus chaud que lui, et en particulier à l'air du local à climatiser : c'est l'objectif essentiel du climatiseur.

Du point F au point H :

Du point **F** au point **H**, le R410A se trouve toujours sur son palier d'évaporation à 5°C.



Au fur et à mesure de sa progression, le fluide à 5°C absorbe la chaleur de l'air chaud du local qui balaye l'évaporateur.

Le fluide étant sur son palier d'évaporation, sa température reste constante et toute la chaleur absorbée à l'air sert uniquement à vaporiser le liquide.

Il y a donc de plus en plus de vapeurs et de moins en moins de liquide.

Simultanément, l'air est refroidi.

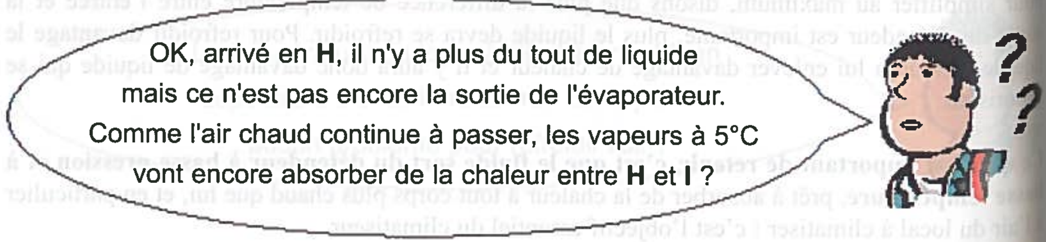
Remarquez le point **G** situé à peu près au milieu de l'évaporateur. *A votre avis, quelle température un thermomètre placé en ce point indiquerait-il ?*

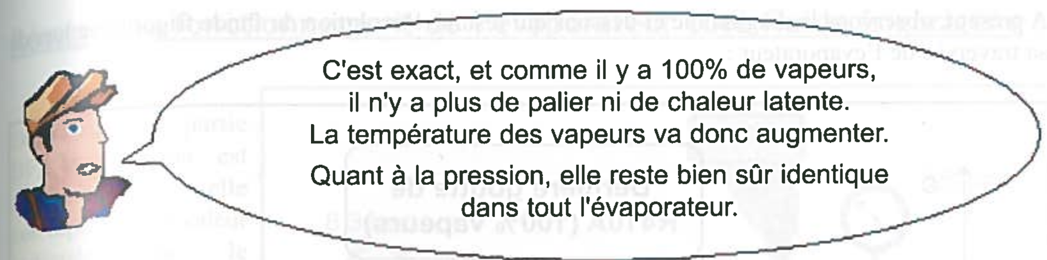
Bien sûr, le point G est situé en plein milieu de l'évaporateur dans la zone ou le R410A est sur son palier d'évaporation. Aussi, un thermomètre placé en G indiquerait 5°C, c'est-à-dire la même température que celle lue sur le manomètre BP placé à l'aspiration.

Ainsi, en progressant dans l'évaporateur, le fluide frigorigène se vaporise en absorbant la chaleur perdue par l'air. Il y a donc de plus en plus de vapeurs et de moins en moins de liquide.

Au point H :

Arrivé au point **H**, la dernière gouttelette de liquide se vaporise à son tour. C'est alors très exactement la fin du palier d'évaporation et il y a *pile* 100% de vapeurs à 5°C.

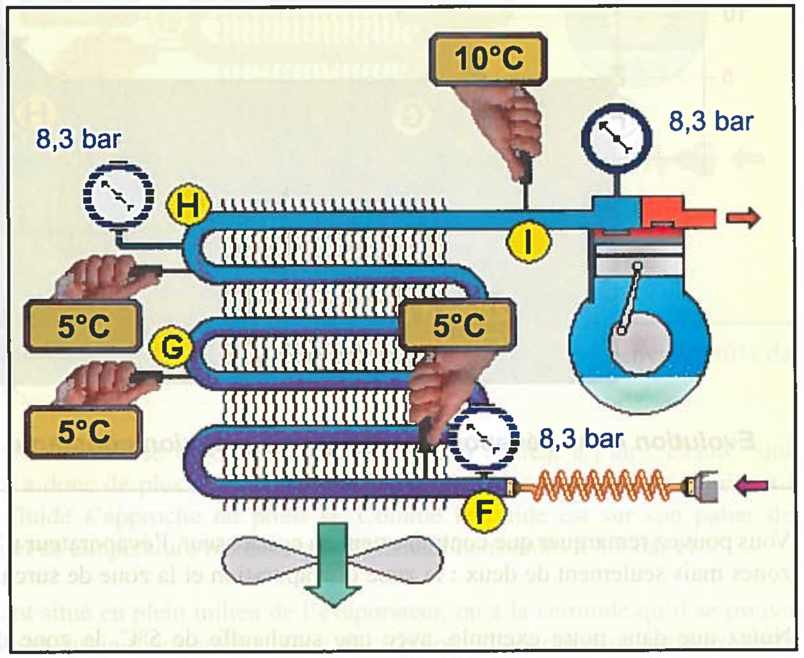




Du point H au point I :

A partir du point **H** le fluide est à l'état 100% vapeur. Sa pression est toujours de 8,3 bar.

L'air du local qui continue de balayer l'évaporateur étant bien plus chaud que les vapeurs de frigorigène, la température des vapeurs va augmenter jusqu'au point **I**.



Comme nous l'avons déjà fait pour les vapeurs à l'entrée du condenseur, on parle à nouveau de **vapeurs surchauffées**.

Mais, la surchauffe des vapeurs se fait à présent par rapport à la température d'évaporation qui est la référence du côté BP. La différence entre la température du fluide à la sortie de l'évaporateur et la température d'évaporation s'appelle **la surchauffe**.

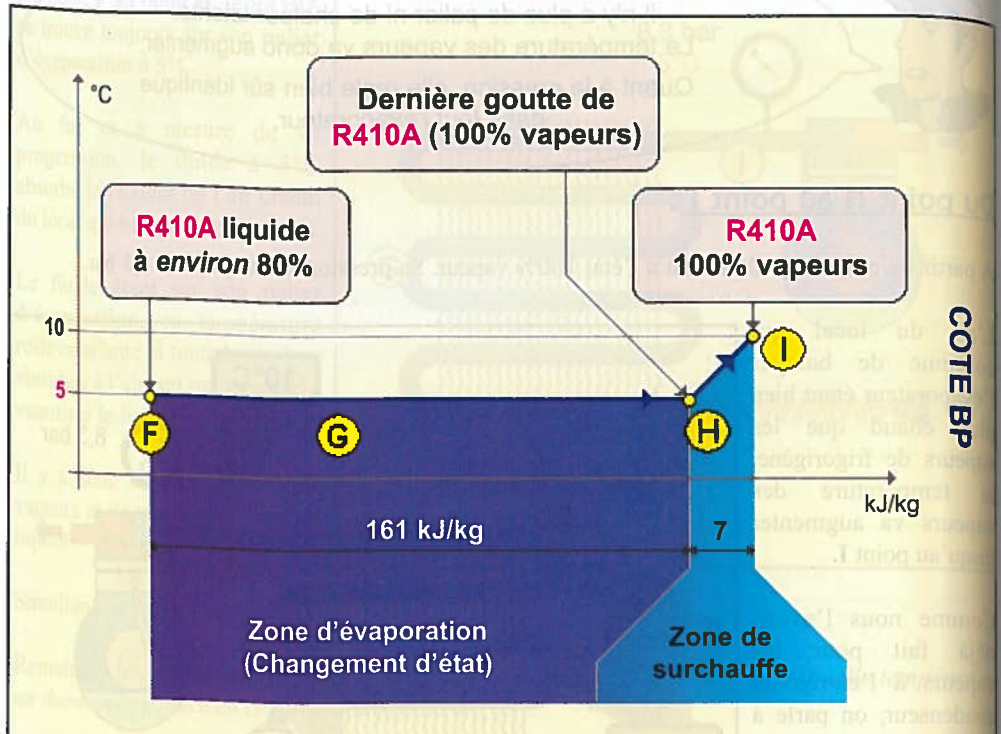
Dans notre exemple, la température du R410A à la sortie de l'évaporateur est de 10°C. La température d'évaporation est de 5°C. La surchauffe a donc pour valeur 10 - 5 = 5°C.

Dès à présent, rappelez-vous qu'il est primordial que les vapeurs aspirées par le compresseur soient surchauffées de quelques degrés.

Ainsi, on a la certitude que le compresseur n'aspire que des vapeurs et en aucun cas du liquide. En effet, si du liquide revenait au compresseur, on aurait un gros problème que les frigoristes appellent " un coup de liquide ".

Pour l'instant, disons qu'un coup de liquide entraîne une mauvaise lubrification du compresseur et qu'il risque de provoquer de gros dégâts mécaniques !

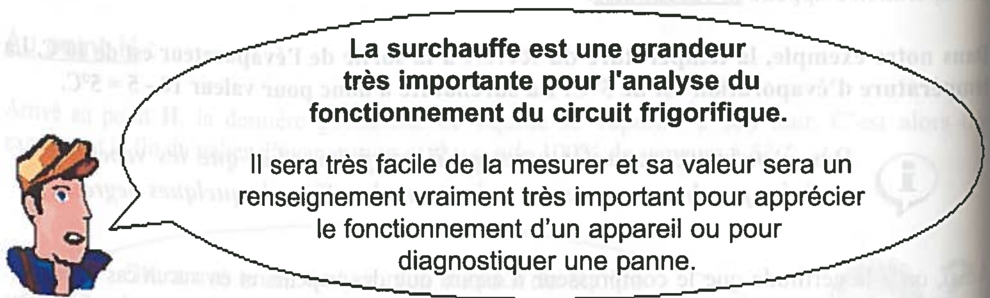
A présent, observons le diagramme ci-dessous qui résume l'évolution du fluide frigorigène lors de sa traversée de l'évaporateur :



Evolution dans l'évaporateur sous une pression constante de 8,3 bar relatifs

Vous pouvez remarquer que contrairement au condenseur, l'évaporateur n'est pas constitué de trois zones mais seulement de deux : la zone d'évaporation et la zone de surchauffe.

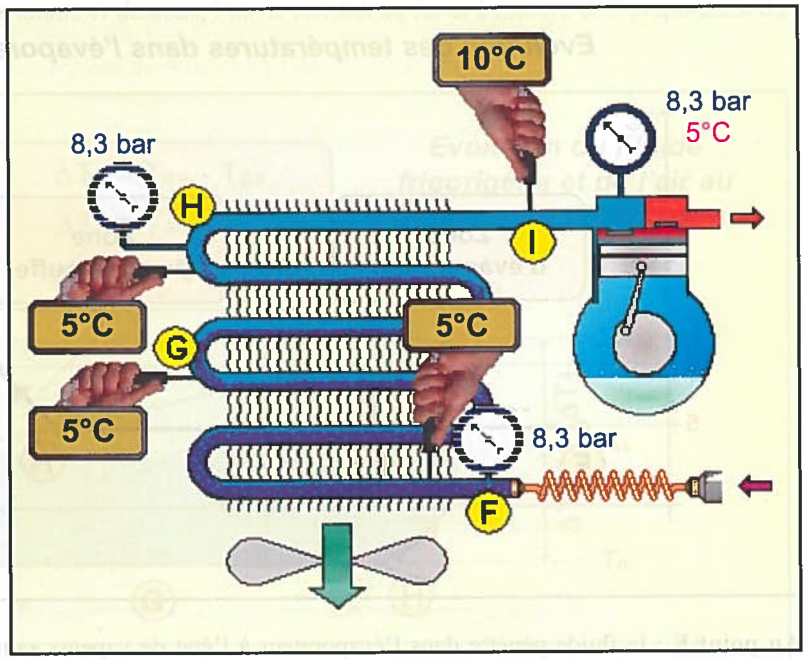
Notez que dans notre exemple, avec une surchauffe de 5°C, la zone de surchauffe représente environ 4% de la puissance totale de l'évaporateur, c'est-à-dire bien peu.



Nous verrons plus tard comment interpréter la valeur de la surchauffe.

Pour l'instant, il est important de savoir ce qu'elle représente et où elle se mesure.

Résumé du fonctionnement de l'évaporateur côté fluide frigorigène :



Dans toute la partie BP, la pression est constante et elle correspond à la valeur indiquée par le manomètre, soit ici 8,3 bar.

La relation pression température du R410A lue sur le manomètre nous indique que le palier d'évaporation se produit à 5°C.

Point F : Le fluide frigorigène sort du détendeur capillaire à 8,3 bar. La détente ayant provoqué la vaporisation d'une partie du liquide, il y a environ 80% de liquide et 20% de vapeurs.

Entre F et H : Le R410A " froid " se vaporise en absorbant de la chaleur à l'air " chaud " qui balaye l'évaporateur. Il y a donc de plus en plus de vapeurs et de moins en moins de liquide au fur et à mesure que le fluide s'approche du point **H**. Comme le fluide est sur son palier de vaporisation, sa pression et sa température restent rigoureusement constantes à 8,3 bar et 5°C.

Point G : Le point **G** étant situé en plein milieu de l'évaporateur, on a la certitude qu'il se trouve sur le palier d'évaporation et qu'un thermomètre placé en ce point indiquerait dans notre exemple 5°C, *c'est-à-dire exactement la même température que celle indiquée par le manomètre BP.*

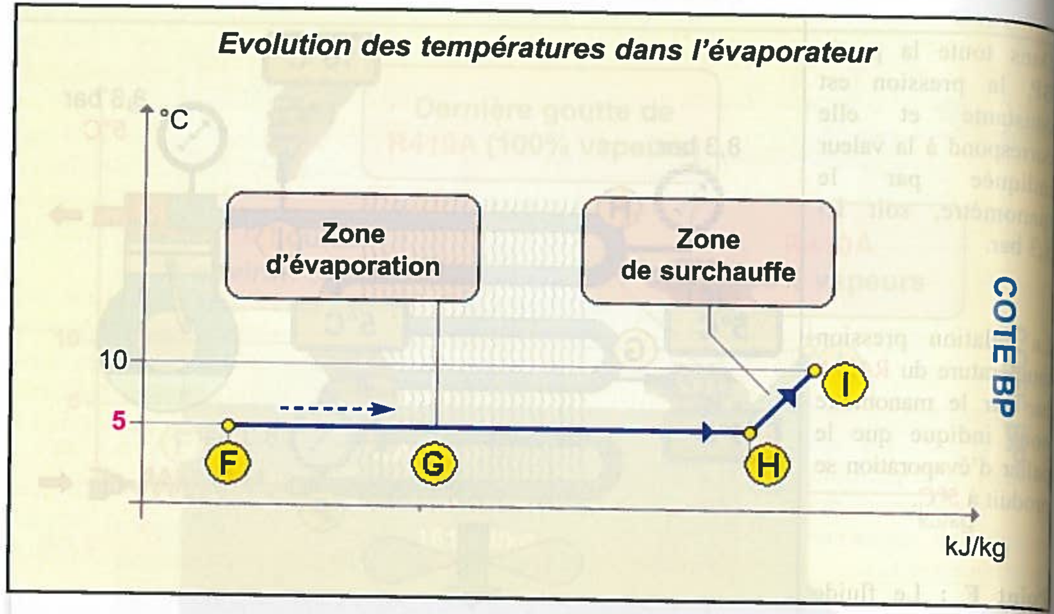
Point H : La dernière gouttelette de R410A liquide se vaporise. Il y a alors *pile* 100% de vapeurs à 5°C. Bien sûr, la pression est toujours de 8,3 bar.

Entre H et I : Le fluide continue d'absorber de la chaleur à l'air. Comme il est à l'état 100% vapeurs, sa température augmente progressivement. On dit alors qu'il se surchauffe.

Point I : A la sortie de l'évaporateur, la pression est toujours de 8,3 bar mais la température des vapeurs aspirées est de 10°C. On dit qu'elles se sont surchauffées de **10** – 5 = **5°C**, ou plus communément, **on dit que la surchauffe est de 5°C**.

Le fait de lire au point **I** une température supérieure à celle du palier nous donne la certitude que le compresseur aspire bien des vapeurs surchauffées et qu'il ne risque pas de prendre le fameux " coup de liquide " qui risquerait d'être meurtrier.

Nous pouvons également représenter l'évolution du fluide dans l'évaporateur de la façon suivante :

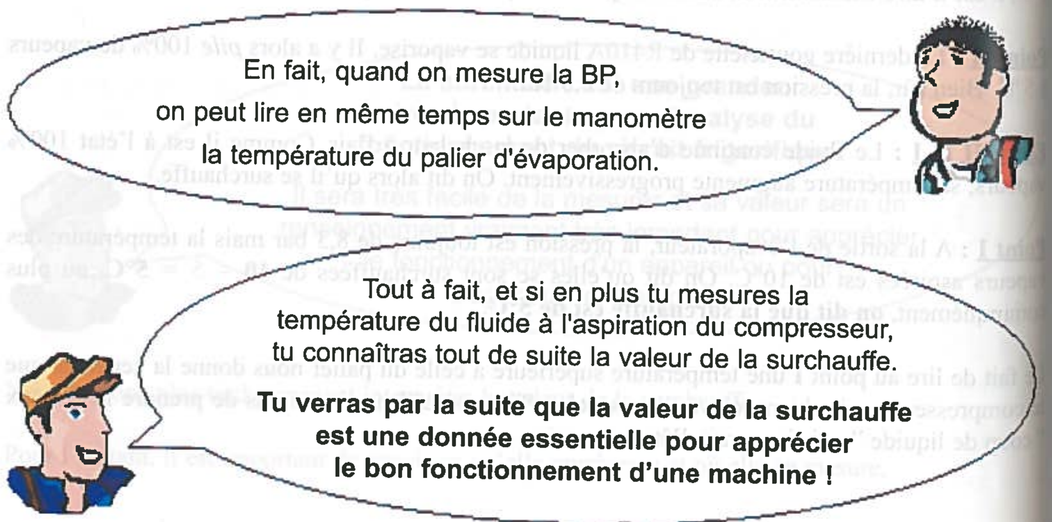


Au point F : le fluide pénètre dans l'évaporateur à l'état de vapeurs saturantes. Il s'est en effet partiellement vaporisé en traversant le détendeur.

De F à H : évaporation du R410A à pression et température constante. Dans l'exemple, le palier se fait à 5°C et 8,3 bar.

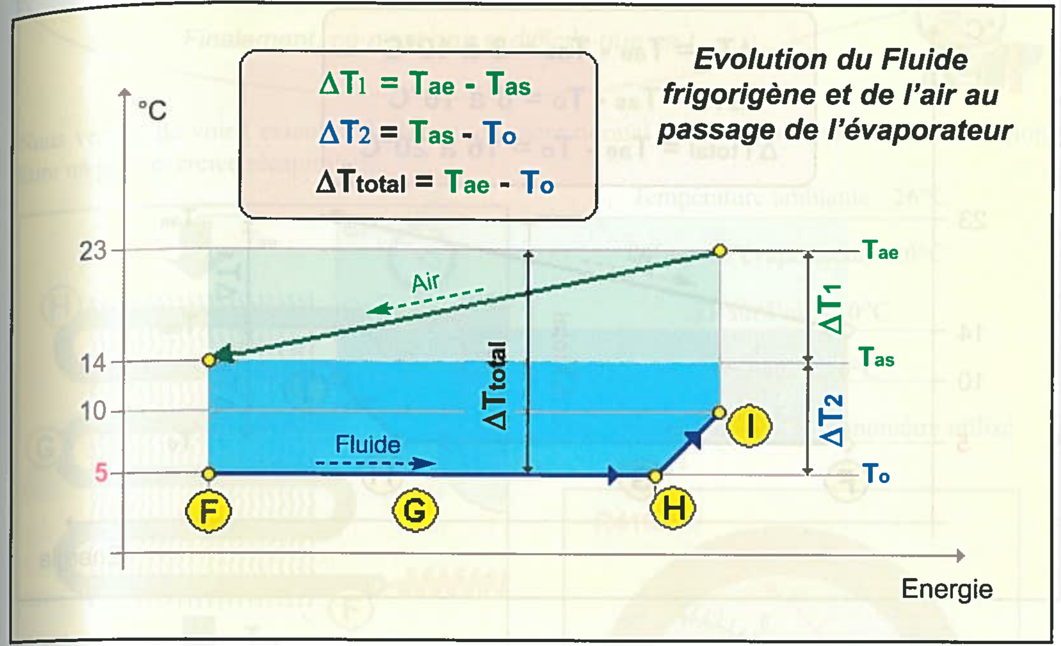
Au point H : la dernière gouttelette de liquide se vaporise. C'est la fin du palier de vaporisation et il y a *pile* 100% de vapeurs.

De H à I : les vapeurs de R410A se surchauffent de 5°C à 10°C. On dit que la surchauffe est de 10 – 5 = 5°C.



Maintenant, nous allons regarder comment évolue l'air lors de sa traversée de l'évaporateur.

Comme le montre le diagramme ci-dessous, l'air se refroidi au fur et à mesure de l'évaporation du fluide frigorigène.



Les températures qui nous intéressent sont les suivantes :

- **To** : Température d'évaporation du fluide frigorigène.
- **Tae** : Température de l'air à l'entrée de l'évaporateur ;
- **Tas** : Température de l'air à la sortie de l'évaporateur.

Vous pouvez constater que le fluide frigorigène et l'air circulent dans l'évaporateur à contre courant, afin d'optimiser l'échange de chaleur.

Sur un climatiseur de confort **en grande vitesse**, les écarts de température sont en règle générale les suivants :

La différence de température (ΔT) entre l'entrée et la sortie de l'air est compris entre 8 et 10°C.

Dans l'exemple, le ΔT sur l'air est de 23 – 14 = 9°C.

La différence de température (ΔT) entre la sortie de l'air et la température d'évaporation est également compris entre 8 et 10°C.

Dans l'exemple, ce ΔT est de 14 – 5 = 9°C.

La différence de température *la plus intéressante pour nous* est celle qui existe entre la température d'évaporation et la température d'entrée d'air. ***C'est cette différence qu'on appelle le ΔT_{total} à l'évaporateur.*** Il est généralement compris entre 16 et 20°C.

Dans l'exemple, le ΔT_{total} est de 23 – 5 = 18°C.

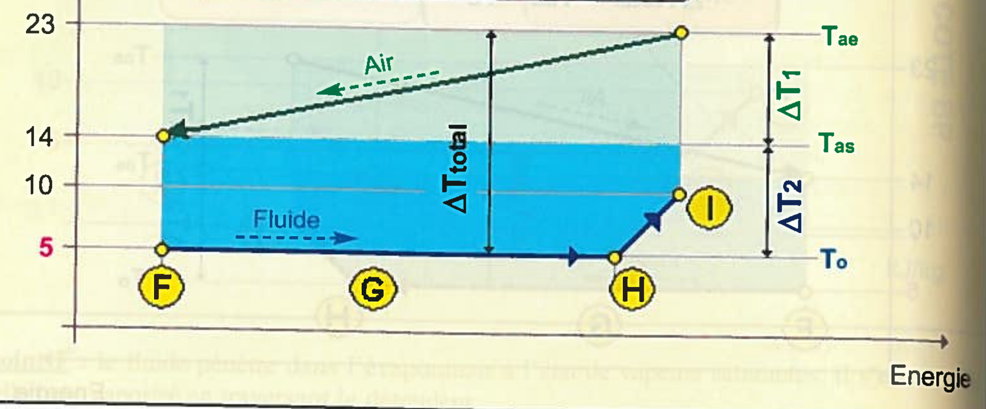
En résumé :

Les différents ΔT usuels d'un évaporateur, ventilation en grande vitesse

$\Delta T_1 = T_{ae} - T_{as} = 8$ à 10°C

$\Delta T_2 = T_{as} - T_o = 8$ à 10°C

$\Delta T_{total} = T_{ae} - T_o = 16$ à 20°C



Le ΔT_{total} est la différence entre la température de l'air à l'entrée de l'évaporateur (c'est-à-dire la température ambiante du local climatisé) et la température d'évaporation (lue au manomètre BP). La valeur de ce ΔT est particulièrement intéressante pour nous.



Si c'est ce ΔT_{total} qui nous intéresse le plus, c'est pour les mêmes raisons que pour le condenseur ?



Tout à fait, il est très facile de mesurer la température ambiante. Alors, avec un ΔT_{total} moyen à l'évaporateur de 18°C, je sais par avance que s'il fait 25°C dans le local, la température d'évaporation devrait se situer aux environs de 25 - 18 = 7°C !

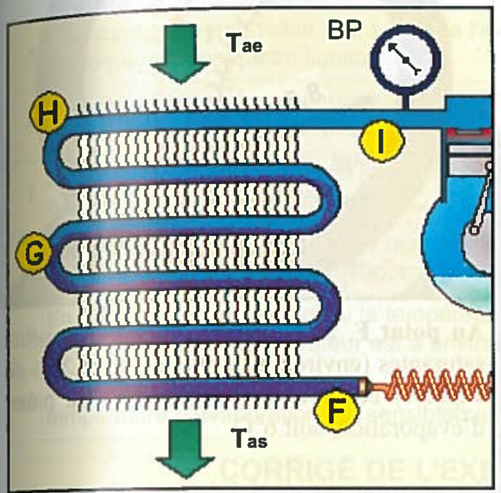
Alors, quand je branche mon mano BP, la température d'évaporation devrait être d'environ 7°C. Si je trouve beaucoup plus ou beaucoup moins, je sais tout de suite qu'il y a une anomalie !

D'accord, la BP dépend de la température de l'air à l'entrée de l'évaporateur, exactement comme la HP dépend de la température de l'air à l'entrée du condenseur.

Finalement, ce n'est pas si difficile que ça !



Nous venons de voir l'essentiel du fonctionnement normal d'un évaporateur. Aussi, nous allons faire un petit exercice récapitulatif.



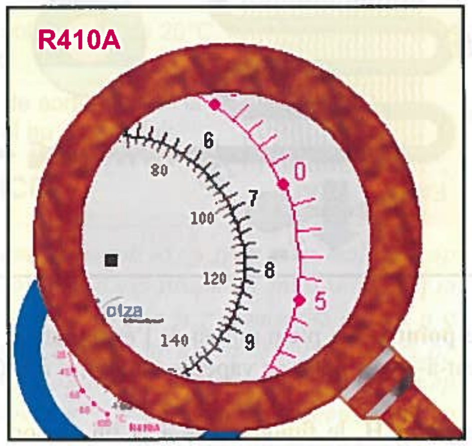
Température ambiante : **26°C**

ΔT_{total} à l'évaporateur : **20°C**

ΔT sur l'air : **10°C**

Surchauffe : **6°C**

Pour vous aider, voici le manomètre utilisé :



A vous de jouer, il ne vous reste plus qu'à compléter les 2 tableaux ci-dessous

Avant de consulter le corrigé page suivante, essayez de vous rendre compte par vous-même si vous maîtrisez bien le sujet

	T_{ae}	T_{as}	ΔT_{total}	* T_o	P_o = BP
Valeurs	**26°C**		**20°C**		

* To est la température d'évaporation

Points	F	G	H	I
T en °C				
P en bar				
* Etat				

* *État :* indiquez **V** si le fluide est à l'état de Vapeur surchauffée, **L** s'il est à l'état de Liquide sous refroidi et **VS** s'il est à l'état de Vapeurs Saturantes.

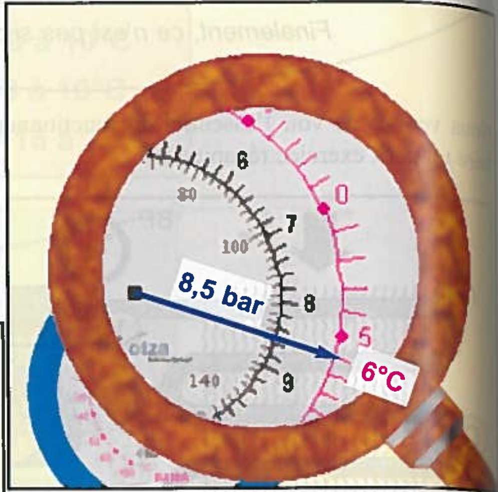
Corrigé de l'exercice :

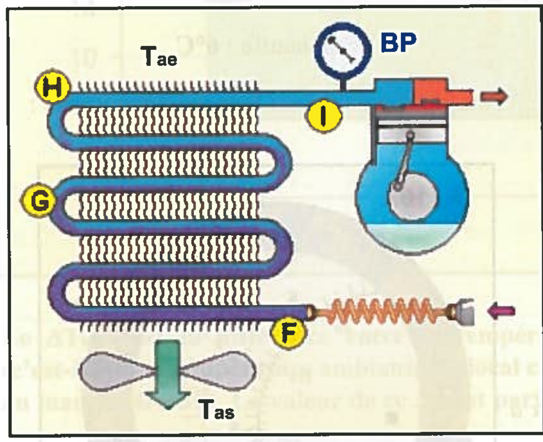
	T_{ae}	T_{as}	ΔT_{total}	T_o	P_o = BP
Valeurs	**26°C**	16°C	**20°C**	6°C	*environ* 8,5 bar

$T_{as} = T_{ae}$ - ΔT sur l'air = 26 - 10 = 16°C.

$T_o = T_{ae} - \Delta T_{total}$ = 26 - 20 = 6°C.

Valeur de la BP : lorsque l'aiguille du manomètre passe par la valeur de T_o (soit 6°C), elle indique simultanément une pression *d'environ* 8,5 bar.





Au point F, le fluide est à l'état de vapeurs saturantes (environ 80% de liquide et 20% de vapeurs) et donc à la température du palier d'évaporation, soit 6°C.

La pression est de 8,5 bar et elle restera à cette valeur dans toute la partie BP (et donc également en G, H et I).

Au point G, en plein milieu de l'évaporateur, le R410A est toujours sur son palier d'évaporation, c'est-à-dire à l'état de vapeurs saturantes à 6°C et 8,5 bar.

Au point H, le fluide arrive à la fin de son palier de vaporisation et la dernière gouttelette de liquide se vaporise à 6°C et 8,5 bar.

A partir du point H, il y a donc 100% de vapeurs.

Au point I, les vapeurs se sont surchauffées de 6°C (donc à 6°C au-dessus de la température du palier d'évaporation). La température des vapeurs est donc de 6 + 6 = 12°C. Cette température étant supérieure à la température d'évaporation, c'est la certitude qu'il y a 100% de vapeurs et que le compresseur ne risque pas un " coup de liquide ".

Points	F	G	H	I
T en °C	6°C	6°C	6°C	12°C
P en bar	8,5 bar	8,5 bar	8,5 bar	8,5 bar
Etat	VS	VS	Passage de VS à V	V

	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°13 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX
1	Un ventilateur tangentiel possède une turbine de gros diamètre et de petite longueur		
2	A la sortie d'un détendeur capillaire, il y environ 80% de vapeurs et 20% de liquide à basse pression et basse température		
3	La température des vapeurs saturantes de fluide frigorigène augmente au fur et à mesure de leur progression dans l'évaporateur		
4	Si le mano BP indique 5°C, la température des vapeurs est de 5°C à la sortie de l'évaporateur		
5	Une surchauffe trop faible à la sortie de l'évaporateur risque de provoquer des coups de liquide		
6	Si la température des vapeurs est de 15 °C à la sortie de l'évaporateur et si le mano BP indique 10°C, alors la surchauffe est de 5°C		
7	En fonctionnement normal, si le mano BP indique 7°C, la température du local climatisé est d'environ 25°C		
8	En fonctionnement normal, si le mano BP indique 7°C, la température des vapeurs à la sortie de l'évaporateur est d'environ 2°C		
9	En fonctionnement normal, si la température ambiante est de 20°C, le fluide qui sort de l'évaporateur est à environ 2°C		
10	Sur un évaporateur, le ΔT entre la température de sortie d'air et la température d'évaporation est sensiblement égal au ΔT sur l'air		

CORRIGÉ DE L'EXERCICE

	VRAI	FAUX
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

1 : Faux, c'est l'inverse. Le diamètre est faible et la longueur importante. - 2 : Faux. C'est l'inverse, il y a environ 80% de liquide et 20% de vapeurs. - 3 : Faux. Le fluide est alors sur son palier de vaporisation et la température reste donc rigoureusement constante. - 4 : Faux. A la sortie de l'évaporateur, les vapeurs sont surchauffées et leur température est donc supérieure à celle indiquée par le mano BP - 5 : Vrai. Pour éviter ce risque qui peut être meurtrier pour le compresseur, il est indispensable que les vapeurs soient surchauffées de quelques degrés. - 6 : Vrai. La surchauffe est alors de 15 - 10 = 5°C. - 7 : Vrai. Cela représente un ΔT_{total} tout à fait correct de 25 - 7 = 18°C. - 8 : Faux. Le mano BP indique la température du palier de vaporisation, ici 7°C. A la sortie de l'évaporateur, les vapeurs étant surchauffées de quelques degrés, leur température est obligatoirement supérieure à 7°C. - 9 : Faux. Avec 20°C en ambiance, du fait du ΔT_{total} le palier de vaporisation se produit aux alentours de 2°C. S'il y avait également 2°C à la sortie de l'évaporateur, il n'y aurait pas du tout de surchauffe et le compresseur prendrait des coups de liquide. - 10 : Vrai. Ces 2 ΔT ont tous 2 pour ordre de grandeur de 8 à 10°C, ce qui correspond à un ΔT_{total} de l'ordre de 16 à 20°C.

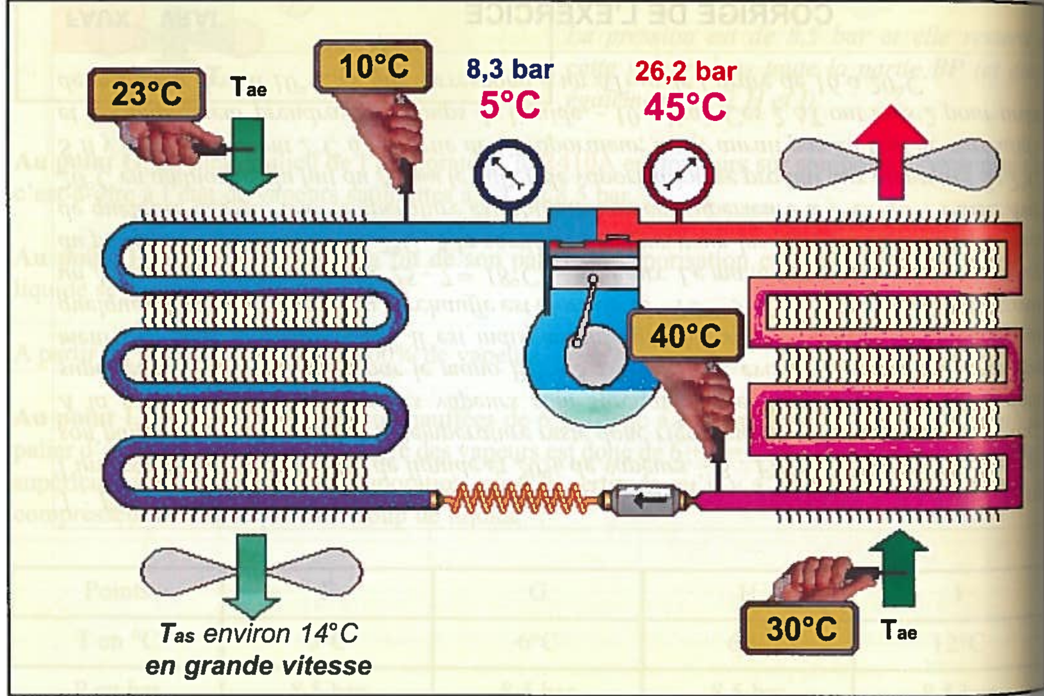
Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

CIRCUIT COMPLET : FONCTIONNEMENT NORMAL

A présent, nous pouvons compléter notre étude en rappelant les conditions normales de fonctionnement vues dans nos exemples précédents.

Côté BP (Basse Pression)	**Côté HP** (Haute Pression)
Température de l'air à l'entrée de l'évaporateur : $T_{ae} = 23°C$	Température de l'air à l'entrée du condenseur : $T_{ae} = 30°C$
ΔT_{total} à l'évaporateur = 18°C ***Valeur normale 16 à 20°C***	**ΔT_{total} au condenseur = 15°C** ***Valeur normale 10 à 20°C***
Température d'évaporation $To = T_{ae} - \Delta T_{total} = 23 - 18 = 5°C$	Température de condensation $Tk = T_{ae} + \Delta T_{total} = 30 + 15 = 45°C$
Basse pression lue au manomètre BP : $Po = 8,3$ bar	Haute pression lue au manomètre HP : $Pk = 26,2$ bar
Surchauffe = 5°C ***Valeur normale 5 à 10°C***	**Sous-refroidissement = 5°C** ***Valeur normale 4 à 7°C***

Ce qui donne sur l'installation :



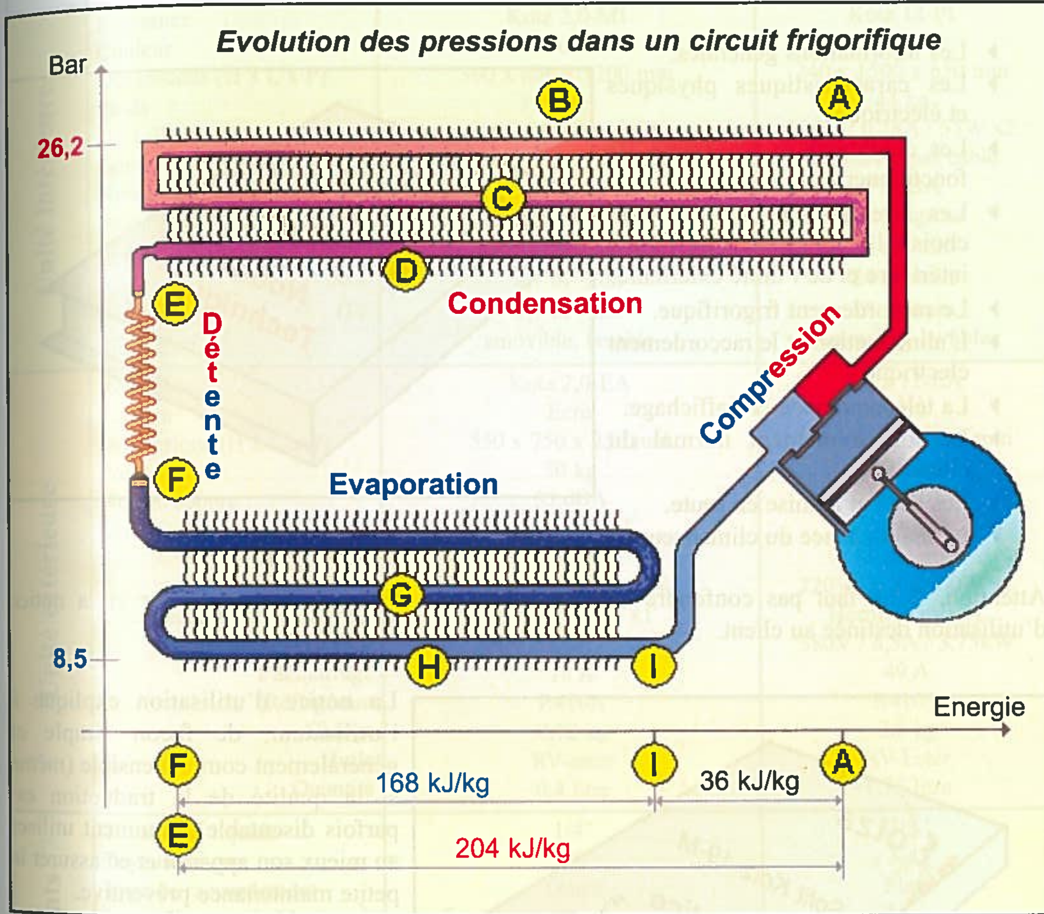
Comme nous l'avons déjà vu, le compresseur a pour seul rôle d'aspirer le fluide frigorigène du côté BP et de le refouler du côté HP…

Il est essentiel de bien comprendre que ce n'est pas le compresseur qui décide des pressions HP et BP. Ces 2 pressions ne dépendent que du ΔT total à l'évaporateur (pour la BP), du ΔT total au condenseur (pour la HP) ainsi que de la température de l'air à l'entrée de chacun de ces 2 échangeurs.

Dans les années 80, les compresseurs à pistons étaient les plus utilisés en climatisation de confort. Depuis, pour des raisons de niveau sonore, de performance, de fiabilité, d'autres technologies comme le compresseur rotatif ou le compresseur spiro-orbital 'Scroll' ont pris la première place.

Cependant, quelle que soit la technologie du compresseur, le résultat est le même : **les pressions HP et BP restent toujours imposées par les conditions de fonctionnement de l'installation.**

On peut représenter ces conditions de fonctionnement sur le diagramme suivant :



Vous voyez que la BP est de 8,5 bar et la HP de 26,2 bar.

Les repères de **A** à **E** correspondent à ceux utilisés lors de l'étude des condenseurs (*voir page 132*). Les repères **F** à **I** ont été utilisés avec les évaporateurs (*voir page 162*).

A titre informatif, nous vous avons indiqué les quantités d'énergie mise en jeu en kiloJoule par kg de fluide frigorigène en circulation.

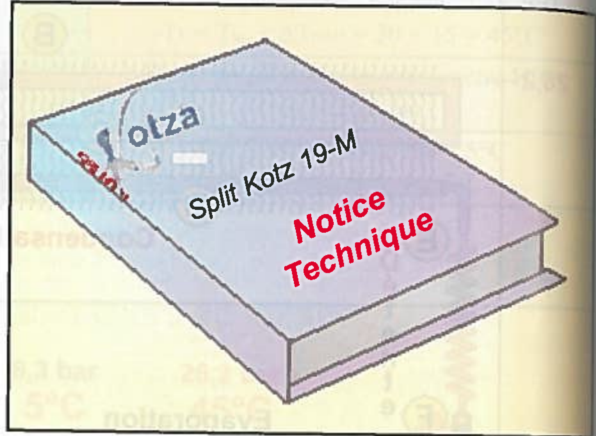
LA NOTICE TECHNIQUE : GÉNÉRALITÉS

Quel que soit le type du climatiseur ou de la pompe à chaleur, sa notice technique est souvent une mine d'informations très importantes pour ceux qui savent la lire.

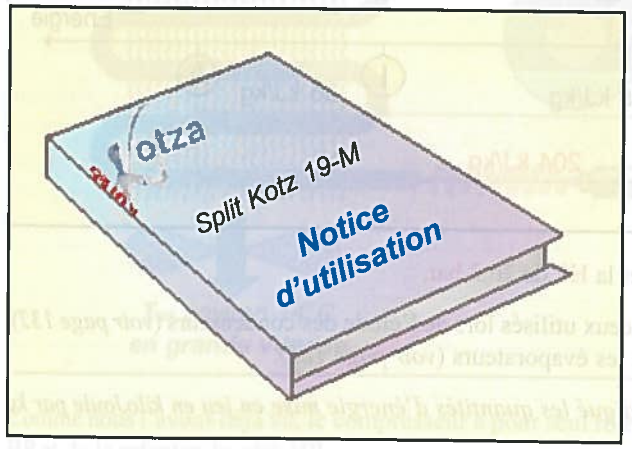
Malheureusement, ce type de notice n'est pas toujours très facile à déchiffrer, surtout pour un non initié. C'est pourquoi nous allons en lire une ensemble.

Le respect des instructions données par le constructeur est en effet la meilleure garantie d'obtenir un fonctionnement sans problème et de satisfaire au mieux les intérêts de votre client, *et donc les vôtres*. On trouve généralement dans cette notice :

- Les informations générales.
- Les caractéristiques physiques et électriques.
- Les conditions et les limites de fonctionnement.
- Les recommandations pour choisir l'emplacement de l'unité intérieure et de l'unité extérieure.
- Le raccordement frigorifique.
- L'alimentation et le raccordement électrique.
- La télécommande et l'affichage.
- Le fonctionnement normal du climatiseur.
- Les tests et la mise en route.
- La maintenance du climatiseur.



Attention, il ne faut pas confondre la notice technique destinée à l'installateur et la notice d'utilisation destinée au client.



La notice d'utilisation explique à l'utilisateur, de façon simple et généralement compréhensible (même si la qualité de la traduction est parfois discutable), comment utiliser au mieux son appareil et en assurer la petite maintenance préventive.

Les deux notices n'ont pas le même objectif et n'ont donc pas la même épaisseur. Notez que souvent le contenu de la notice d'utilisation se trouve également dans la notice technique.

Dans les chapitres suivants, nous allons examiner en détails la page ci-dessous, extraite d'une notice technique :

	Grandeurs		Kotz 2,0-MA	Kotz 12-PA
Ensemble	Puissance frigorifique		2000 W	12000 W
	Puissance calorifique		-	14000 W
	Déshumidification		env 1 l/h	env 6 l/h
	Alimentation		220V / 1~ / 50Hz	380V / 3~ / 50Hz
	Localisation Alim.		unité intérieure	unité extérieure
	Intensité absorbée		2,8 A	8,4 A
	Puissance absorbée		615 W	4600 W
	C.O.P		-	3,0
	Système de détente		tube capillaire	tube capillaire
	Syst. de condensation		à air	à air
Unité intérieure	Référence		Kotz 2,0-MI	Kotz 12-PI
	Couleur		Ivoire	Ivoire
	Dimensions (H x L x P)		360 x 800 x 1200 mm	240 x 1500 x 650 mm
	Poids		9 kg	44 kg
	U / I / P		220V / 0,17A / 35W	220V / 0,28A / 55W x2
	Commande		à distance infra rouge	à distance par câble
	Niveau sonore		36 dBA	57 dBA
	Ventilateur	type	tangentiel x1	centrifuge x4
		Débit d'air PV	3,6 m³/min	20 m³/min
		MV	4,7 m³/min	24 m³/min
		GV	5,7 m³/min	28 m³/min
	Filtre à air		amovible, lavable	amovible, lavable
Unité extérieure	Référence		Kotz 2,0-EA	Kotz 12-EA
	Couleur		Ecru	Ecru
	Dimensions (H x L x P)		550 x 750 x 250 mm	1250 x 900 x 350 mm
	Poids		30 kg	120 kg
	Niveau sonore		55 dBA	60 dBA
	Ventilateur	type	hélicoïde x 1	Hélicoïde x 2
		Débit d'air	23 m³/min	88 m³/min
		U / I / P	220V / 0,13A / 25W	220V / 0,3A / 60W x2
	Compresseur	type	Herm. Rotatif x1	Herm. Scroll x1
		U / I / P	220V / 2,5A / 550W	380V / 6,5A / 3,75kW
		I démarrage	18 A	49 A
		Réfrigérant	R410A	R410A
		Charge	0,72 kg	2,8 kg
		Huile	RV-ester	RV-Ester
		Quantité	0,4 litre	1,75 litre
Raccordements	Tuyauterie liquide		1/4"	3/8"
	Tuyauterie gaz		3/8"	3/4"
	Type de raccordement		Quick	Flare
	Long. Tuyauterie Maxi		10 m	25 m
	Dénivelé maxi si :			
	Unité Ext au-dessus		5 m	20 m
	Unité Ext au-dessous		5 m	15 m
	Isolation des tuyauteries		Gaz et Liquide	Gaz et Liquide
	Evacuation condensats		Ø 16 mm	Ø 24 mm
	Câble d'alimentation		3G2,5	5G2,5
	Câble d'automatisme		3G1,5	8G1,5

LA NOTICE TECHNIQUE : LES PUISSANCES

Nous allons commencer notre étude par l'examen des puissances indiquées en gras dans le tabl ci-dessous, c'est-à-dire : puissance frigorifique, puissance calorifique, déshumidificati puissance absorbée et C.O.P.

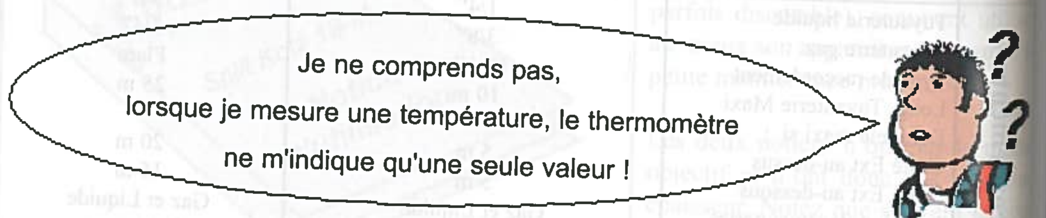
Température sèche et température humide :

	Grandeurs	Kotz 2,0-MA	Kotz 12-PA
Ensemble	**Puissance frigorifique**	2000 W	12000 W
	Puissance calorifique	-	14000 W
	Déshumidification	env 1 l/h	env 6 l/h
	Alimentation	220V / 1~ / 50Hz	380V / 3~ / 50Hz
	Localisation Alim.	unité intérieure	unité extérieure
	Intensité absorbée	2,8 A	8,4 A
	Puissance absorbée	615 W	4600 W
	C.O.P	-	3,0
	Système de détente	tube capillaire	tube capillaire
	Syst. de condensation	à air	à air

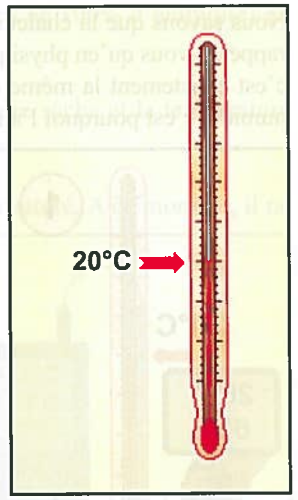
Les caractéristiques indiquées par les constructeurs sont toujours données pour des conditions d fonctionnement spécifiques. Ces conditions de référence sont normalisées pour faciliter l comparaison des performances entre 2 appareils de 2 constructeurs différents. Par exemple, l norme internationale ISO R 859 – NF E 36101 fixe les conditions suivantes :

Températures / Utilisation	Conditions intérieures		Conditions extérieures	
	Bulbe sec	Bulbe humide	Bulbe sec	Bulbe humide
FROID	27°C	19°C	35°C	24°C
CHAUD	20°C	-	7°C	6°C
Norme	ISO R 859 – NF E 36101			

Nous pouvons constater qu'il existe deux types de températures : la température du bulbe sec et l température du bulbe humide.



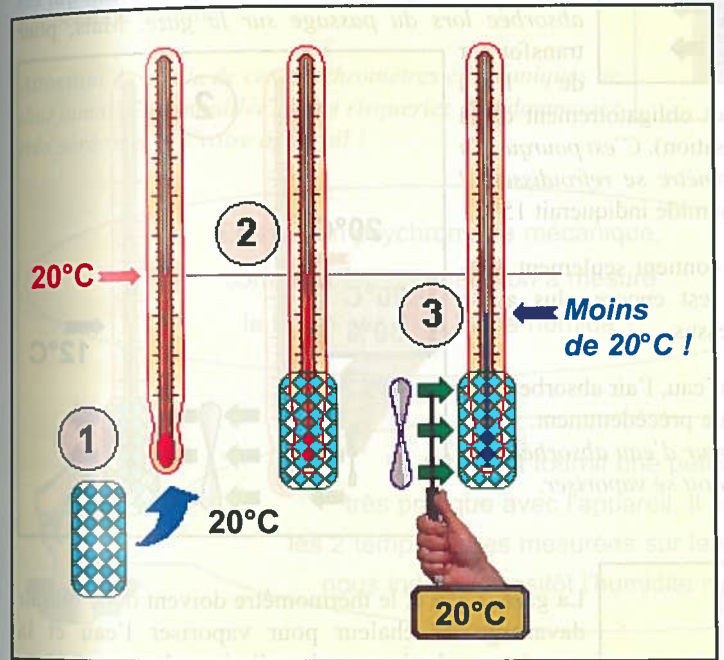
Avez-vous une explication à donner à Alexis ?



Nous avons l'habitude d'utiliser un thermomètre (à mercure ou à alcool) qui nous indique la température ambiante de l'endroit où il est placé, par exemple 20°C.

Ce type de thermomètre est appelé thermomètre sec : il n'y a aucune trace d'eau ni humidité sur le bulbe. La température indiquée est donc désignée par " température du bulbe sec " ou encore par " température sèche ".

Toutefois, comme nous l'avons déjà vu *page 68*, l'air qui nous entoure contient de la vapeur d'eau. Nous savons que cette vapeur d'eau va se condenser sur la paroi froide de l'évaporateur en formant des condensats. Nous en reparlerons un peu plus loin, mais dès à présent, sachez qu'il peut être important de connaître la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air.

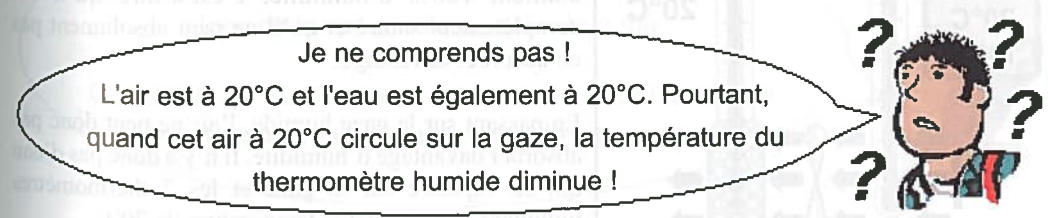


Regardez l'expérience ci-contre. Le thermomètre sec indique 20°C. On mouille un morceau de gaze avec de l'eau également à 20°C (**repère 1**) et on entoure le bulbe avec cette gaze.

L'eau étant également à 20°C, le thermomètre continue d'indiquer 20°C (**repère 2**).

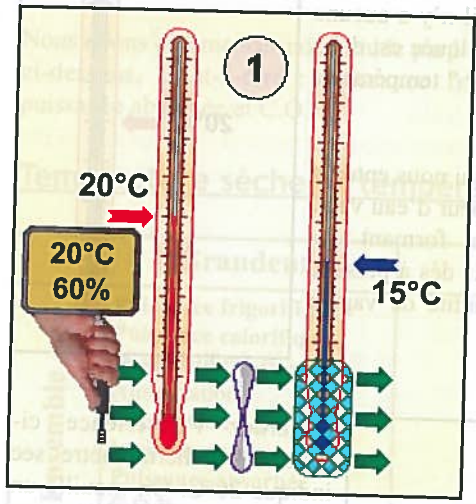
Maintenant, si on fait circuler l'air de la pièce à 20°C sur la gaze humide, on constate que la température du thermomètre diminue !

C'est cette température obtenue avec la gaze humide qu'on appelle température humide ou température du bulbe humide (notez qu'il existe des appareils mécaniques, équipés de 2 thermomètres et d'un petit ventilateur, spécialement conçu pour effectuer cette mesure. On les appelle des psychromètres).



Et vous, vous avez une petite idée de ce qui se passe ?

Nous savons que la chaleur va toujours du corps le plus chaud vers le corps le plus froid. En eff[illegible] rappelez-vous qu'en physique, c'est toujours le plus riche qui donne au plus pauvre. Pour l'humidit[illegible] c'est exactement la même chose : elle va toujours du corps le plus humide vers le corps le moin[illegible] humide, c'est pourquoi l'air sec est avide d'eau. *Or, la gaze humide est saturée d'humidité.*

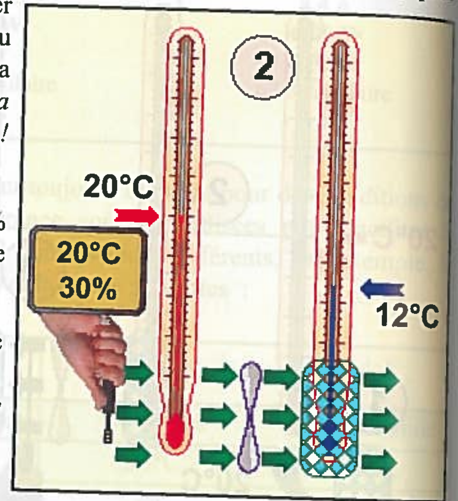


Dans le **cas n° 1** ci-contre, l'air à 20°C contient 60[illegible] d'humidité (ce qui signifie qu'il ne contient que 60[illegible] du maximum possible, et donc qu'il en veut encore).

En passant sur la gaze imbibée d'eau, l'air absorb[illegible] donc de l'humidité et ressort de la gaze plus humid[illegible] qu'à l'entrée.

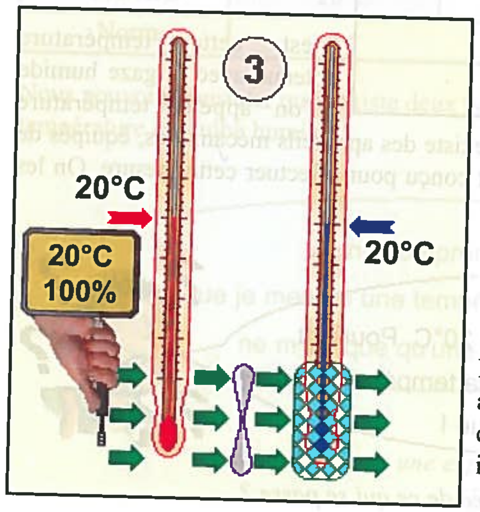
Mais, l'air est un gaz et un gaz ne peut absolument pas absorber un liquide bien plus lourd que lui !

C'est donc obligatoirement de la vapeur d'eau qui es[illegible] absorbée lors du passage sur la gaze. Mais, pour transformer de l'eau liquide en vapeur d'eau, il faut obligatoirement de la chaleur (il y un palier de vaporisation). *C'est pourquoi la gaze, l'eau et donc le thermomètre se refroidissent !* Dans notre exemple, le bulbe humide indiquerait 15°C.



Dans le **cas n°2**, l'air à 20°C contient seulement 30% d'humidité, c'est-à-dire qu'il est encore plus avide d'eau que dans l'exemple ci-dessus.

En passant sur la gaze saturée d'eau, l'air absorbe donc encore bien plus d'humidité que précédemment. *Mais, puisqu'il y a davantage de vapeur d'eau absorbée, il y a davantage d'eau liquide qui doit se vaporiser.*



La gaze, l'eau et le thermomètre doivent donc fournir davantage de chaleur pour vaporiser l'eau et la température du thermomètre diminue davantage (dans l'exemple ci-dessus, le bulbe humide indiquerait 12°C).

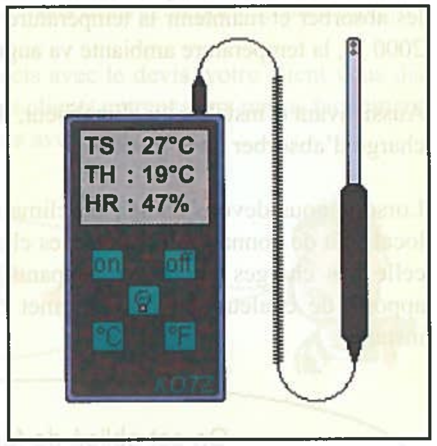
Dans ce dernier exemple (**cas n° 3**), l'air à 20°C contient 100% d'humidité, c'est-à-dire qu'il est complètement saturé et qu'il ne peut absolument pas en absorber davantage.

En passant sur la gaze humide, l'air ne peut donc pas absorber davantage d'humidité. Il n'y a donc pas d'eau qui se vaporise sur la gaze et les 2 thermomètres indiquent alors la même température de 20°C.

Ainsi, la température humide est toujours inférieure (si l'air est à moins de 100% d'humidité) ou égale (si l'air est saturé à 100% d'humidité) à la température sèche.

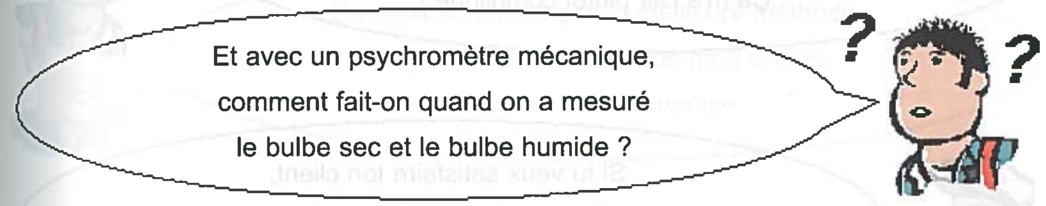
De plus, comme nous venons de le voir, plus l'écart entre la température sèche et la température humide est faible, plus l'air est humide.

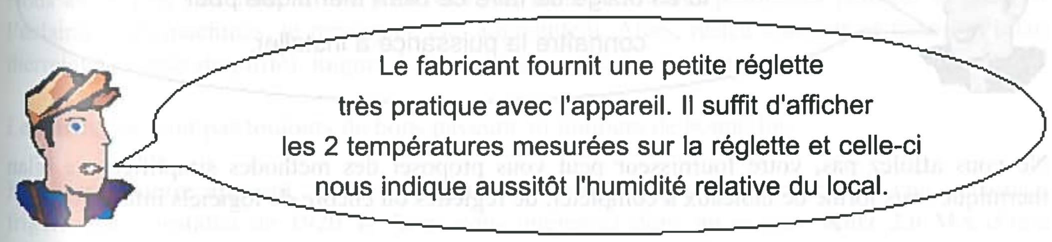
Si les températures sèche et humide sont identiques, on dit que l'air est saturé. A ce moment, il ne peut plus absorber davantage d'eau. On dit qu'il est 100% de sa capacité d'absorption ou qu'il est à 100% d'Humidité **Relative (HR)**. Si la quantité d'eau contenue dans l'air est égale à la moitié de sa capacité, on dirait de la même façon que son humidité relative est de 50%.

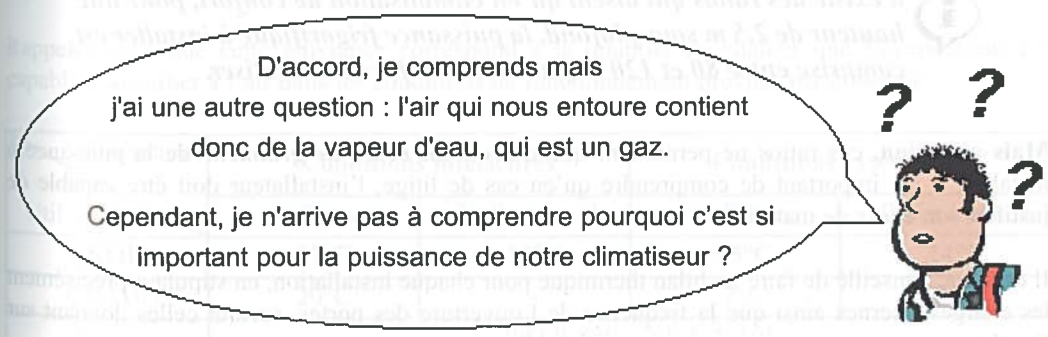


De nos jours, on utilise couramment des thermomètres électroniques. Il est possible que le vôtre possède une fonction psychromètre. Si c'est le cas, il vous indique la température sèche, l'humidité relative et parfois la température humide.

Attention, la sonde de ces psychromètres électroniques ne doit jamais être mouillée : vous risqueriez d'endommager très sérieusement votre appareil !







Alexis aura une réponse très bientôt...

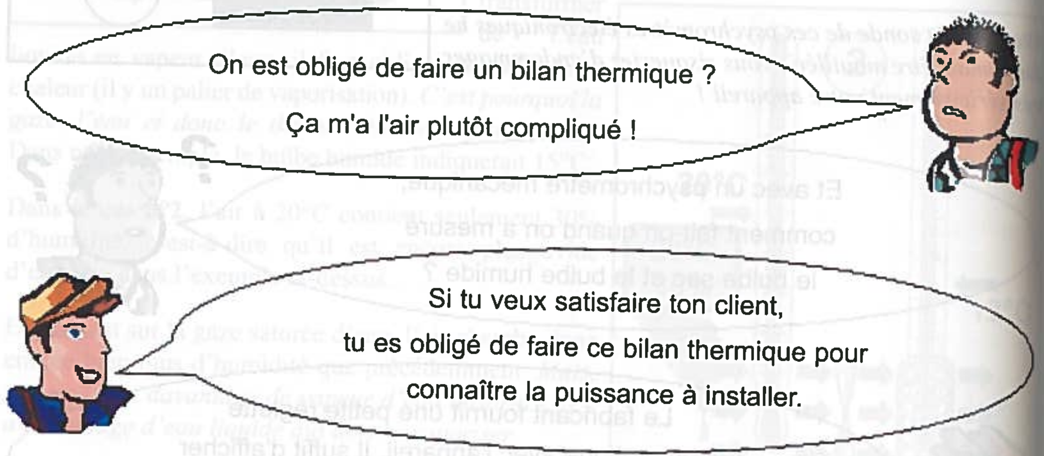
La puissance frigorifique :

Si nous nous intéressons par exemple au modèle **Kotz 2,0-MA**, d'après la notice technique de la *page 178*, la puissance frigorifique du climatiseur est de 2000 Watt. Cette puissance correspond à la quantité de chaleur que l'évaporateur est capable d'absorber.

Si nous installons cet appareil dans un local où les dégagements de chaleur sont de 2000 W, il pourra les absorber et maintenir la température. Par contre, si les dégagements de chaleur sont supérieurs à 2000 W, la température ambiante va augmenter et le client ne sera sûrement pas content.

Aussi, avant d'installer un climatiseur, il est nécessaire de connaître la quantité de chaleur qu'il sera chargé d'absorber dans le local.

Lorsque nous devons choisir un climatiseur, il faut faire ce qu'on appelle un *bilan thermique* du local afin de connaître la valeur des charges thermiques externes (murs, plafond, vitrages, etc.) et celle des charges internes (occupants, éclairage, machines, etc.). C'est l'addition de tous ces apports de chaleur qui nous permet de déterminer la puissance frigorifique du climatiseur à installer.



Ne vous affolez pas, votre fournisseur peut vous proposer des méthodes simplifiées de bilan thermique sous forme de tableaux à compléter, de réglettes ou encore de logiciels informatiques.

il existe des ratios qui disent qu'en climatisation de confort, pour une hauteur de 2,5 m sous plafond, la puissance frigorifique à installer est comprise entre 80 et 120 W par m² de surface à climatiser.

Mais attention, ces ratios ne permettent que d'avoir ***un ordre de grandeur*** de la puissance à installer. Il est important de comprendre qu'en cas de litige, l'installateur doit être capable de justifier son choix de matériel.

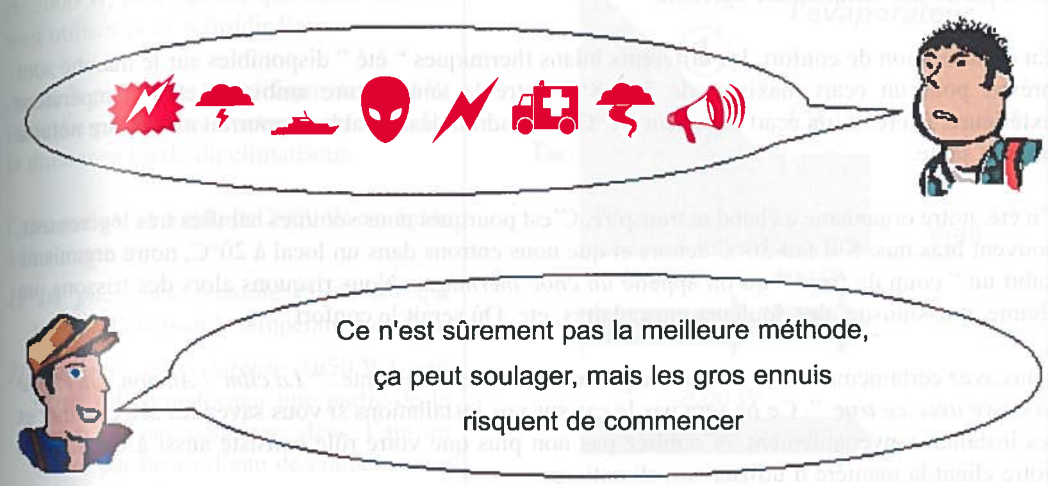
Il est donc conseillé de faire un bilan thermique pour chaque installation, en stipulant précisément les charges internes ainsi que la fréquence de l'ouverture des portes, surtout celles donnant sur l'extérieur.

Imaginez qu'un commerçant vous demande de climatiser son magasin. En suivant ses indications, vous faites le bilan thermique en considérant que la porte donnant sur la rue piétonne reste fermée en permanence.

Il accepte le devis, vous réalisez l'installation et vous faites la mise en route.

Le client est satisfait et pour l'instant tout va bien. Deux semaines plus tard, votre client se plaint car il fait trop chaud dans le magasin. Lorsque vous arrivez, vous trouvez la porte grande ouverte.

Comme vous n'avez pas fait signer un bilan thermique précis avec le devis, votre client vous dis qu'il n'a jamais été question de laisser la porte fermée car les clients entrent alors moins facilement dans le magasin. A ce moment, que faites-vous, quel recours avez-vous ?



Nous avons pris l'exemple d'une porte ouverte, mais les mêmes problèmes peuvent se poser si l'éclairage, les machines, le personnel, etc. augmentent. Alors, restez couverts et faites un bilan thermique (même simplifié), joignez-le à votre devis et faites le signer.

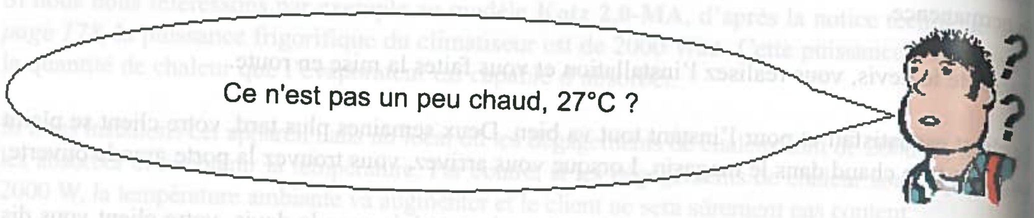
Les clients ne sont pas toujours de bons payeurs, ni toujours de bonne foi.

Revenons à notre appareil. Vous avez fait le bilan thermique et vous trouvez une puissance frigorifique à installer de 1920 W. Vous-vous intéressez donc au modèle **Kotz 2,0-MA** d'une puissance de 2000 W, qui semble correspondre tout à fait à ce qu'il vous faut.

Rappelez-vous que cette puissance correspond à la quantité de chaleur que l'évaporateur est capable d'absorber à l'air dans les conditions de fonctionnement prévues par la norme :

Températures / Utilisation	Conditions intérieures		Conditions extérieures	
	Bulbe sec	Bulbe humide	Bulbe sec	Bulbe humide
FROID	**27°C**	**19°C**	**35°C**	**24°C**
CHAUD	20°C	-	7°C	6°C
Norme	ISO R 859 – NF E 36101			

C'est-à-dire qu'avec une température extérieure de 35°C, la température intérieure sera d'environ 27°C.



Attention, un climatiseur fait de la climatisation de confort et en aucun cas du conditionnement d'air. Nous ne pourrons pas maintenir une température rigoureusement constante dans un local, mais plutôt une température agréable.

En climatisation de confort, les différents bilans thermiques " été " disponibles sur le marché sont prévus pour un écart maximal de 7 à 8°C entre la température ambiante et la température extérieure. Du reste, un écart supérieur à 8°C deviendrait désagréable et pourrait même être néfaste pour la santé.

En été, notre organisme a chaud et transpire. C'est pourquoi nous sommes habillés très légèrement, souvent bras nus. S'il fait 30°C dehors et que nous entrons dans un local à 20°C, notre organisme subit un " coup de froid " qu'on appelle *un choc thermique*. Nous risquons alors des frissons, un rhume, une sinusite, des douleurs musculaires, etc. Où serait le confort ?

Vous avez certainement déjà entendu le genre de remarque suivante : " *La clim ! Ah non. On chope la crève avec ce truc* ". Ce ne sera pas le cas sur vos installations si vous savez les sélectionner et les installer convenablement. N'oubliez pas non plus que votre rôle consiste aussi à expliquer à votre client la manière d'utiliser son climatiseur.

Ne perdez jamais de vue qu'un client satisfait vous fera de la bonne publicité et vous fera gagner des nouveaux clients. Mécontent, il vous en fera perdre !

La puissance de déshumidification :

Dans la notice vue *page 178*, le fabricant annonce une déshumidification d'environ un litre d'eau par heure pour le modèle **Kotz 2,0-MA** (aux conditions nominales ISO R 859 – NF E 36101).

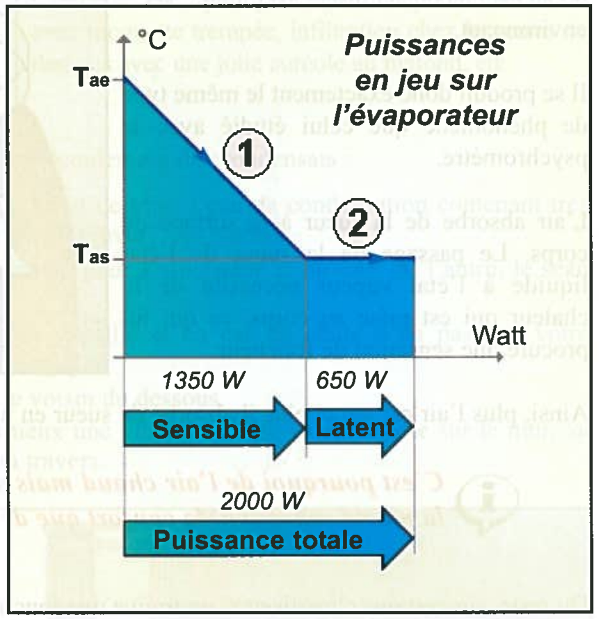
	Grandeurs	Kotz 2,0-MA	Kotz 12-PA
Ensemble	Puissance frigorifique	2000 W	12000 W
	Puissance calorifique	-	14000 W
	Déshumidification	**env 1 l/h**	env 6 l/h
	Puissance absorbée	615 W	4600 W
	C.O.P	-	3,0

Comme nous l'avons déjà vu *page 68*, cette eau provient de la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air sur la surface froide de l'évaporateur...

Mais, pour que la vapeur d'eau (qui est un gaz) contenue dans l'air se transforme en condensats (qui est de l'eau liquide), il faut impérativement enlever de la chaleur à cette vapeur (il y a donc un palier de condensation) ! Ensuite, les condensats sont rejetés à l'égout.

Cela signifie qu'une partie de la puissance de l'évaporateur sert à condenser de la vapeur d'eau que l'on va ensuite rejeter à l'égout !

Cette puissance rejetée à l'égout est loin d'être négligeable puisque dans notre exemple, il faut environ 650 W pour condenser 1 litre d'eau.



La puissance totale de l'évaporateur étant de 2000 W, cela signifie que seuls 1350 W sont utilisés pour refroidir l'air.

Ainsi, la puissance frigorifique de 2000 W indiquée par le constructeur correspond à la puissance totale du climatiseur.

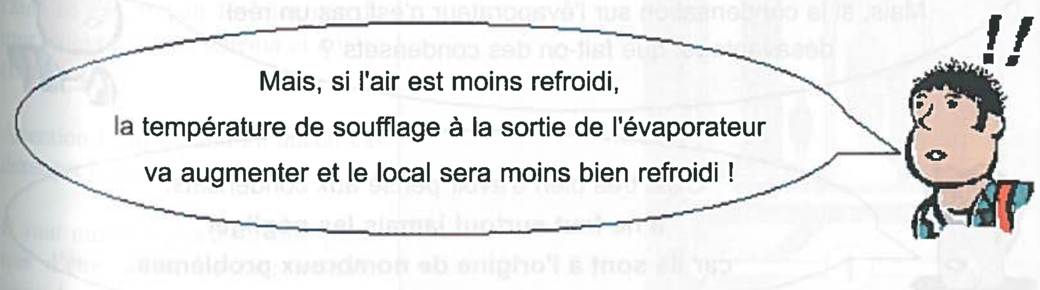
Cette puissance totale de 2000 W est égale à la somme de :

1) *La puissance sensible* (1350 W) qui permet d'abaisser la température de l'air.
2) *La puissance latente* (650 W) qui permet de transformer une partie de la vapeur d'eau contenue dans l'air en 1 litre par heure d'eau de condensation à évacuer à l'égout.

Ainsi, pour un climatiseur donné, plus la puissance latente augmente et plus la puissance sensible diminue.

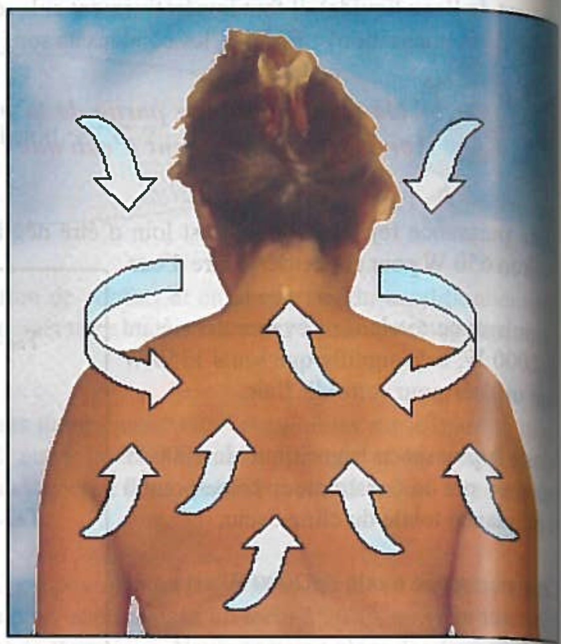
On peut également dire que plus l'air ambiant sera humide, plus il y aura de condensation, plus il y aura de puissance latente et donc moins de puissance sensible (dans notre exemple, alors que le climatiseur a une puissance de 2000 W, seuls 1350 W servent à refroidir le local !).

A ce moment, si la puissance sensible diminue, l'air sera obligatoirement moins refroidi en traversant l'évaporateur.



Êtes-vous du même avis qu'Alexis ?

Alexis n'a pas tort, mais il ignore un autre phénomène.



En été, nous avons sur toute la surface de notre corps une fine pellicule de sueur, *d'autant plus abondante qu'il fait chaud,* constituée principalement d'eau.

Sur toutes les parties dénudées du corps (visage, cou, bras, etc.), cette fine épaisseur d'eau est en contact direct avec l'air " sec " environnant.

Il se produit donc exactement le même type de phénomène que celui étudié avec le psychromètre.

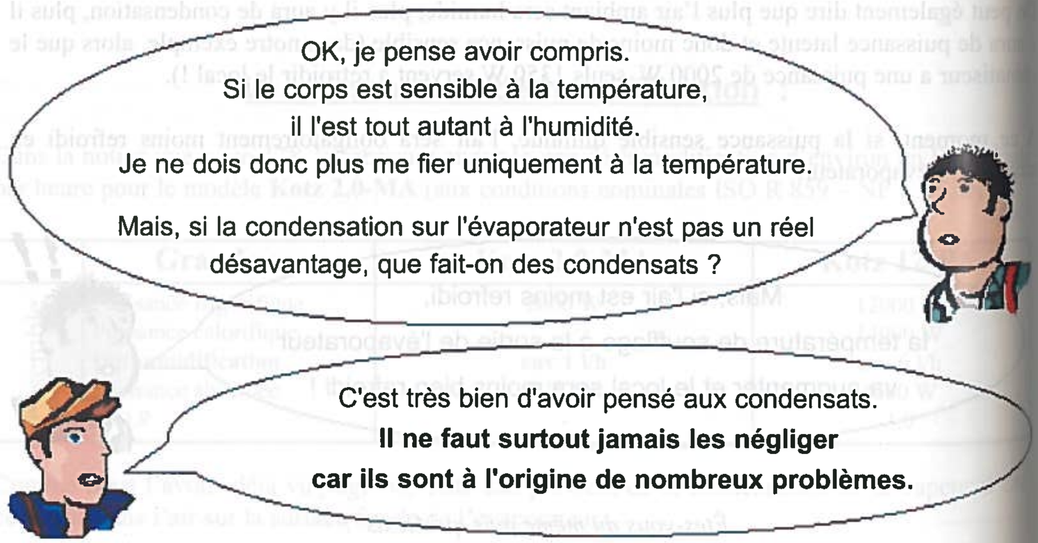
L'air absorbe de la sueur à la surface du corps. Le passage de la sueur de l'état liquide à l'état vapeur nécessite de la chaleur qui est prise au corps, ce qui lui procure une sensation de fraîcheur.

Ainsi, plus l'air est sec et plus il absorbe de sueur en nous rafraîchissant.

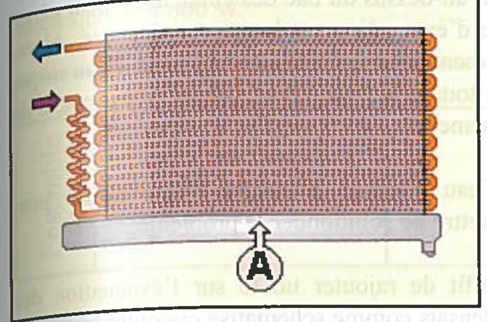
C'est pourquoi de l'air chaud mais sec peut donner à notre cerveau la même sensation de confort que de l'air froid mais humide.

Du reste, sur certains climatiseurs, on trouve une fonction de déshumidification (DRY) qui permet d'abaisser l'humidité en ambiance sans faire chuter la température.

L'air plus sec permettra de retrouver une sensation agréable de confort.



Effectivement, il ne faut jamais négliger les eaux de condensation récupérées dans le bac à condensats placé juste au-dessous de l'évaporateur **(repère A)**.



Un litre par heure de condensats pour un petit climatiseur de 2000 W, cela peut sembler faible, mais après 10 heures de fonctionnement, cela représente quand même 10 litres d'eau.

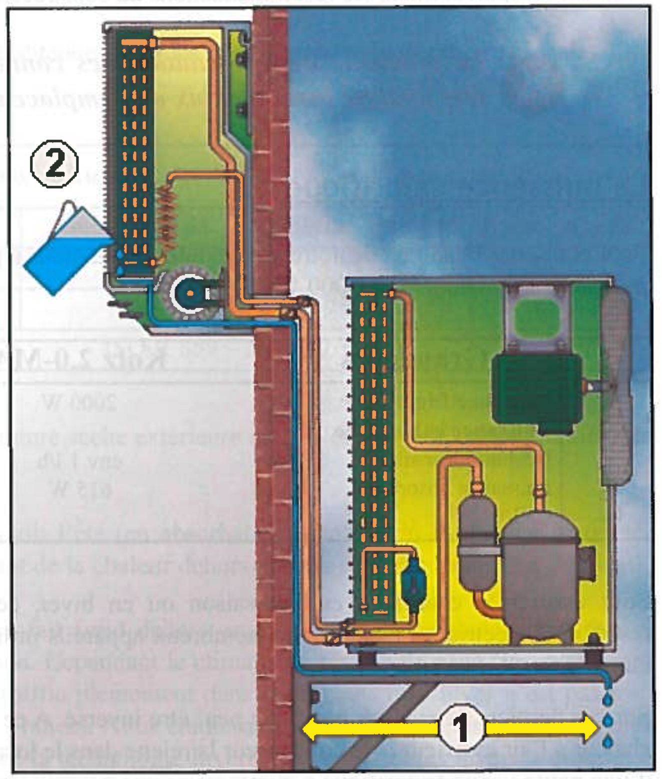
C'est bien assez pour provoquer une petite inondation avec moquette trempée, infiltration chez le voisin du dessous avec une jolie auréole au plafond, etc.

Pour éviter ce type d'ennui, ne raccordez pas l'écoulement des condensats :

- *Dans un pot de fleur,* il va vite déborder et de plus, l'eau de condensation contenant très peu de sels minéraux, elle risque de faire " crever " les plantes.
- *Dans un seau,* c'est une grosse contrainte pour l'utilisateur et un jour où l'autre, le seau débordera, c'est inévitable !
- *Sur un trottoir,* il sera en permanence mouillé et en cas de chute d'un passant, votre responsabilité peut être sérieusement engagée.
- *Sur un balcon,* l'eau va couler chez le voisin du dessous.
- *Directement contre une façade,* au mieux une vilaine auréole va apparaître sur le mur, au pire il y aura une infiltration d'eau au travers.

Il reste assez peu de possibilités, si ce n'est le raccordement des condensats sur une évacuation d'eau pluviale ou d'eau usée.

Dans ce dernier cas, il est primordial de ne pas oublier de faire un siphon pour éviter des remontées d'odeurs désagréables !



Toutefois, en cas d'impossibilité de raccorder les condensats à l'égout, vous pouvez les rejeter à l'extérieur.

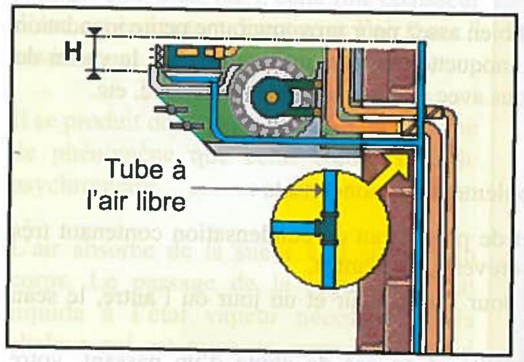
Dans ce cas, il faut les éloigner du mur, comme sur le schéma ci-contre **(repère 1)**.

Attention l'eau ne doit en aucun cas déranger le voisinage.

Il vaut mieux y penser *avant,* plutôt que d'être obligé de tout modifier *après* !

Dans tous les cas, il est impératif de tester l'évacuation des eaux de condensation en versant de l'eau dans le bac et en vérifiant son évacuation (**repère 2** page précédente).

Attention, la petite dépression créée par le ventilateur au-dessus du bac des condensats peut gêner la libre évacuation de l'eau, surtout si la tuyauterie d'évacuation est longue et sinueuse. Alors même si l'évacuation des condensats se fait correctement avec le ventilateur à l'arrêt, l'eau risque quand même de déborder du bac quand le ventilateur tournera. Il vaut donc mieux ne pas courir de risque et faire le test avec le ventilateur en fonctionnement.

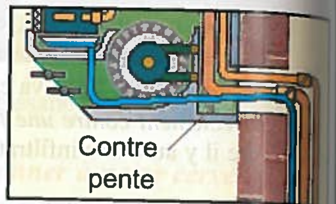


Si l'eau s'écoule mal, une petite astuce peut permettre de solutionner le problème.

Il suffit de rajouter un té sur l'évacuation des condensats comme schématisé ci-contre.

Le tube à l'air libre doit être coupé quelques centimètres au-dessus du niveau maximum de l'eau dans le bac (cote H, sinon, l'eau du bac pourrait s'écouler par ce tube).

L'eau de condensation s'évacue par gravité.



Il est donc essentiel de maintenir une pente régulière vers l'évacuation et surtout de ne jamais faire de contre-pente : respectez toujours scrupuleusement les recommandations du constructeur.

Le problème de l'évacuation des condensats doit impérativement être analysé lors du choix de l'emplacement de l'unité intérieure.

La puissance calorifique :

Pour continuer l'examen de notre notice, intéressons-nous à présent au modèle **Kotz 12-PA**, d'une puissance calorifique de 14 000 W

	Grandeurs	Kotz 2,0-MA	Kotz 12-PA
Ensemble	Puissance frigorifique	2000 W	12000 W
	Puissance calorifique	-	**14000 W**
	Déshumidification	env 1 l/h	env 6 l/h
	Puissance absorbée	615 W	4600 W
	C.O.P	-	3,0

Pour assurer le chauffage en intersaison ou en hiver, certains climatiseurs sont équipés de résistances électriques mais de très nombreux appareils utilisent une autre technologie, celle des climatiseurs " réversibles ".

Sur ces derniers, le cycle frigorifique peut être inversé. A ce moment, l'évaporateur absorbe de la chaleur à l'air extérieur et le condenseur la rejette dans le local. Cette inversion est réalisée à l'aide d'une petite vanne frigorifique à quatre voies que nous verrons plus en détails *page 347).*

La puissance absorbée :

Comme rappelé dans le tableau ci-dessous, le modèle **Kotz 12-PA** absorbe une puissance électrique de 4 600 W.

	Grandeurs	Kotz 2,0-MA	Kotz 12-PA
Ensemble	Puissance frigorifique	2000 W	12000 W
	Puissance calorifique	-	14000 W
	Déshumidification	env 1 l/h	env 6 l/h
	Puissance absorbée	615 W	**4600 W**
	C.O.P	-	3,0

La puissance électrique absorbée par un appareil désigne, comme son nom l'indique, la puissance électrique que l'appareil consomme et qu'il faudra payer au fournisseur d'électricité.

La puissance calorifique de chauffage de cet appareil est de 14 000 W alors qu'il n'en absorbe que 4 600. *Le chauffage n'est donc pas assuré par des résistances électriques, sinon l'appareil absorberait également 14 000 W.*

Pour les climatiseurs réversibles, on parle de **C**oefficient **O**ptimal de **P**erformance (C.O.P) lorsqu'ils fonctionnent en mode chauffage. Ce coefficient de performance est le rapport entre la puissance dégagée au condenseur (qui sert à chauffer le local) et la puissance absorbée par le compresseur. Dans notre exemple, le COP est de 14 000 / 4 600 = 3,04. Cela signifie que pour 1 kW payé à EDF, on obtient une puissance de chauffe au condenseur de 3,04 kW : intéressant, non ?

Rappelons que ces performances sont obtenues pour les conditions nominales internationales ISO R 859 – NF E 36101 :

Températures / Utilisation	Conditions intérieures		Conditions extérieures	
	Bulbe sec	Bulbe humide	Bulbe sec	Bulbe humide
FROID	27°C	19°C	35°C	24°C
CHAUD	**20°C**	-	**7°C**	**6°C**
Norme	ISO R 859 – NF E 36101			

Dans notre exemple, avec une température sèche extérieure de 7°C et une température humide de 6°C, le COP sera de 3,04.

Ainsi, un climatiseur réversible refroidit l'été (en absorbant la chaleur du local pour la rejeter dehors) et chauffe l'hiver (en absorbant de la chaleur dehors pour la rejeter à l'intérieur du local).

On peut déjà comprendre que plus il fait froid dehors, moins il y aura de chaleur absorbée à l'évaporateur et moins le COP sera bon. Cependant le climatiseur réversible reste très intéressant et économique en intersaison. Il se justifie pleinement dans les régions où l'hiver n'est pas trop rude (par exemple dans le midi de la France). Nous étudierons en détails les appareils réversibles *page 347*, les modèles réversibles avec la technologie Inverter *page 407* et les diverses pompes à chaleur permettant de chauffer de l'eau à partir de la *page 535*.

	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°14 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX
1	S'il fait 22°C dans le local climatisé et 30°C dehors, le manomètre BP indique environ 4°C et le manomètre HP indique environ 45°C.		
2	S'il fait 22°C dans le local climatisé, on peut évaluer la température des vapeurs à l'aspiration du compresseur à environ 10°C		
3	Si la température extérieure est de 30°C, on peut évaluer que la température du liquide qui sort du condenseur est à environ 45°C		
4	La température du bulbe humide est toujours inférieure à la température du bulbe sec		
5	Pour mesurer une température humide avec un psychromètre, il faut mouiller la gaze sous un robinet, se dépêcher d'envelopper le bulbe du thermomètre humide avec la gaze mouillée puis effectuer très rapidement la mesure		
6	Un local climatisé de 30 m² nécessite une puissance frigorifique d'environ 3 000 W		
7	S'il fait 35°C à l'extérieur, il est préférable de ne pas descendre la température du local climatisé en dessous de 27°C		
8	Si la puissance calorifique d'un climatiseur réversible est de 9 000 W et qu'il absorbe 3 000 W, alors son COP est de 3 000 / 9 000 = 0.66		

CORRIGÉ DE L'EXERCICE

VRAI FAUX

1 : Vrai. Cela représente un ΔT total à l'évaporateur de 22 - 4 = 18°C (ce qui est très correct, la valeur normale étant comprise entre 16 et 20°C) et un ΔT total au condenseur de 45 - 30 = 15°C (ce qui est également très correct, la valeur normale allant de 10 à 20°C). - 2 : Vrai. Dans la question précédente, nous venons de voir qu'avec 22°C en ambiance une BP d'environ 4°C est tout à fait normale. Les vapeurs arrivant au compresseur doivent être surchauffées de quelques degrés (valeur normale de 5 à 10°C) afin d'éviter les risques de 'coups de liquide'. Ici, la surchauffe serait de 10 - 4 = 6°C ce qui semble correct. - 3 : Faux. Nous avons vu dans la question 1 qu'avec 30°C extérieur la HP (donc la température du palier de condensation) est d'environ 45°C. Comme le liquide doit sortir du condenseur avec un sous refroidissement normal de 4 à 7°C, il devrait être aux environs de 40°C et absolument pas à 45°C. - 4 : Faux. Il y a une exception si l'air est à 100% d'humidité. Dans ce cas, le thermomètre sec et le thermomètre humide indiquent tous deux la même valeur. - 5 : Faux. Si l'eau du robinet est à 10°C, le thermomètre humide indiquera 10°C. Si l'eau est à 40°C, il indiquera 40°C ! Dans tous les cas, votre mesure sera farfelue. Il est donc impératif que la température de l'eau utilisée se soit égalisée avec la température ambiante. - 6 : Faux. Le ratio d'une centaine de watts par m² ne sert qu'à apprécier l'ordre de grandeur de la puissance à installer mais on ne peut rien affirmer avec certitude. Il ne faudra pas la même puissance frigorifique si le local est orienté au nord, bien isolé avec peu de fenêtres, peu d'occupants, pas de machines ni d'éclairage par rapport à un local mal isolé, orienté plein sud avec de grandes baies vitrées, de nombreux spots d'éclairage très puissants et de nombreux occupants ! - 7 : Vrai. On considère que les risques de choc thermique apparaissent en été lorsque l'écart entre la température intérieure d'un local climatisé et la température extérieure dépasse 7 à 8°C. - 8 : Faux. Son COP serait alors égal à 9 000 / 3 000 = 3.

NOTICE TECHNIQUE : L'UNITÉ INTÉRIEURE

Continuons notre étude de la notice vue *page 177* par l'examen des caractéristiques de l'unité intérieure :

	Grandeurs		Kotz 2,0-MA	Kotz 12-PA
Unité intérieure	Référence		Kotz 2,0-MI	Kotz 12-PI
	Couleur		Ivoire	Ivoire
	Dimensions (H x L x P)		360 x 800 x 1200 mm	240 x 1500 x 650 mm
	Poids		9 kg	44 kg
	U / I / P		220V / 0,17A / 35W	220V / 0,28A / 55W x2
	Commande		à distance infra rouge	à distance par câble
	Niveau sonore		36 dBA	57 dBA
	Ventilateur	type	tangentiel x1	centrifuge x4
		Débit d'air PV	3,6 m³/min	20 m³/min
		MV	4,7 m³/min	24 m³/min
		GV	5,7 m³/min	28 m³/min
	Filtre à air		amovible, lavable	amovible, lavable

Références et différents types d'unités :

Les références sont en quelque sorte la carte d'identité de l'appareil. Elles permettent, en cas de besoin, de commander les pièces détachées nécessaires sans risque d'erreur. Elles doivent donc être relevées avec le plus grand soin. Elles sont souvent riches d'informations qui permettent d'identifier rapidement les caractéristiques du climatiseur. Malheureusement, chaque constructeur à ses propres repères, ce qui complique la vie de l'installateur.

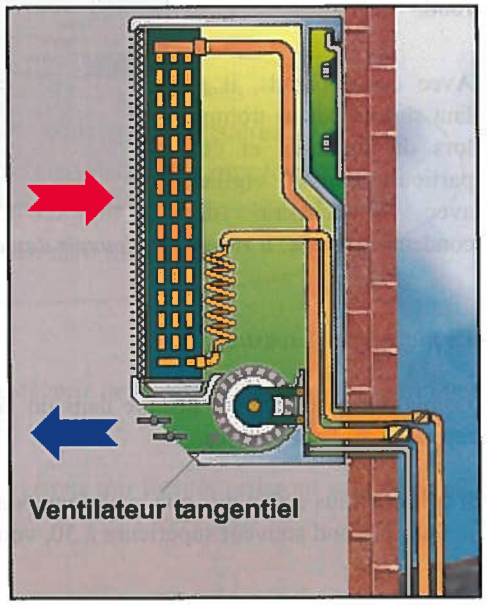
Dans notre tableau, nous avons deux références d'unités intérieures :

- **Kotz 2,0-MI** : **Kotz** pour la marque ; **2,0** pour la puissance frigorifique (2 kW) ; **MI** pour unité **M**urale **I**ntérieure.
- **Kotz 12-PI** : **Kotz** pour la marque ; **12** pour la puissance frigorifique (12 kW) ; **PI** pour **P**lafonnier **I**ntérieur.

Les unités murales :

Les splits-systèmes muraux sont les plus répandus. Leur gamme de puissance est d'environ 1 000 à 7 000 W et ils existent en " froid seul " ou en " réversible ".

Les unités intérieures murales sont équipées d'un ventilateur tangentiel (*vu page 161*) qui présente l'avantage d'être *particulièrement silencieux*. Leur positionnement en partie haute d'un mur permet une bonne diffusion de l'air dans le local et facilite l'évacuation par gravité des condensats. Ces trois atouts majeurs expliquent le succès du split mural.

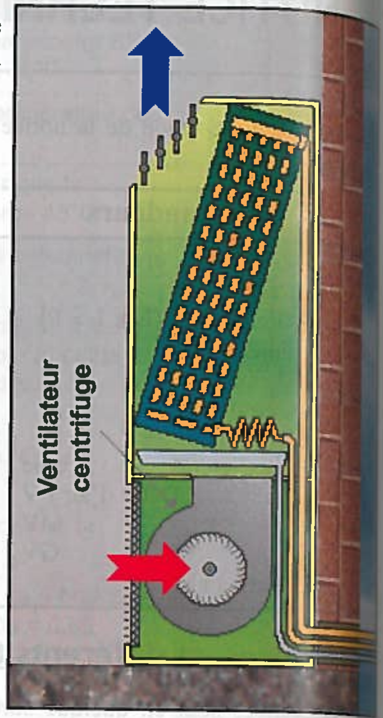


Les unités consoles :

La gamme des splits de type “ console “ est moins étendue que celle des muraux. Les modèles vont d’environ 2500 à 6000 W et ils existent en réversible comme en froid seul.

L’unité intérieure, qu’on appelle la console, est alors posée sur le sol et fixée contre la cloison. Elle est souvent équipée d’un ventilateur centrifuge (que nous verrons *page 200*).

Un ventilateur centrifuge ressemble à un escargot et l’air est toujours aspiré par le centre du ventilateur, comme représenté ci-contre.



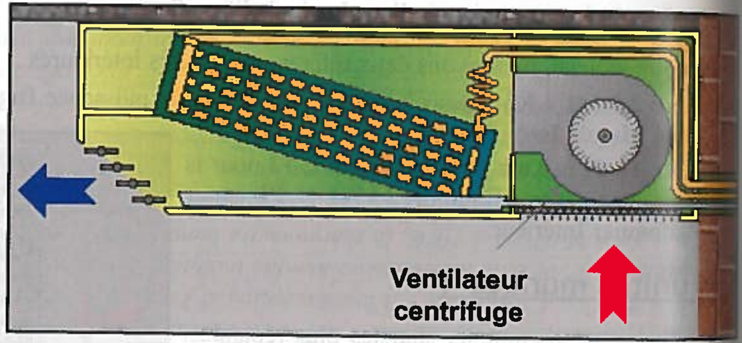
Ce type de climatiseur est plutôt utilisé dans des bureaux et positionné sous une fenêtre, surtout lorsque des armoires ou des rayonnages empêchent l’installation d’un split mural.

Les unités de plafond :

Il existe trois catégories de splits plafonniers : apparents, encastrés et plafonniers avec réseau de gaine.

Le plafonnier apparent :

Le plafonnier apparent ressemble un peu à une console mais il est fixé horizontalement au plafond.



Avec ces appareils, il ne faut surtout pas se tromper lors du montage et être particulièrement vigilant avec l’évacuation des condensats, ***sinon, il risque de pleuvoir dans le local !***

Le plafonnier encastré :

Le plafonnier encastré s’installe dans un faux plafond et seuls les panneaux de soufflage et de reprise d’air sont visibles.

Il est donc plus esthétique que le plafonnier apparent, mais il nécessite une hauteur disponible dans le faux plafond souvent supérieure à 30, voire 35 cm…

Ces appareils sont parfois équipés d’une pompe de relevage de condensats (ce qui facilite l’évacuation des condensats jusqu’à l’égout). Notez qu’il arrive que cette pompe soit à l’origine d’un arrêt intempestif du climatiseur.

En effet, afin d’éviter tout risque de débordement, un détecteur de niveau peut arrêter le climatiseur en cas de problème sur la pompe. Alors, si un climatiseur reste désespérément à l’arrêt et refuse de démarrer, pensez-y !

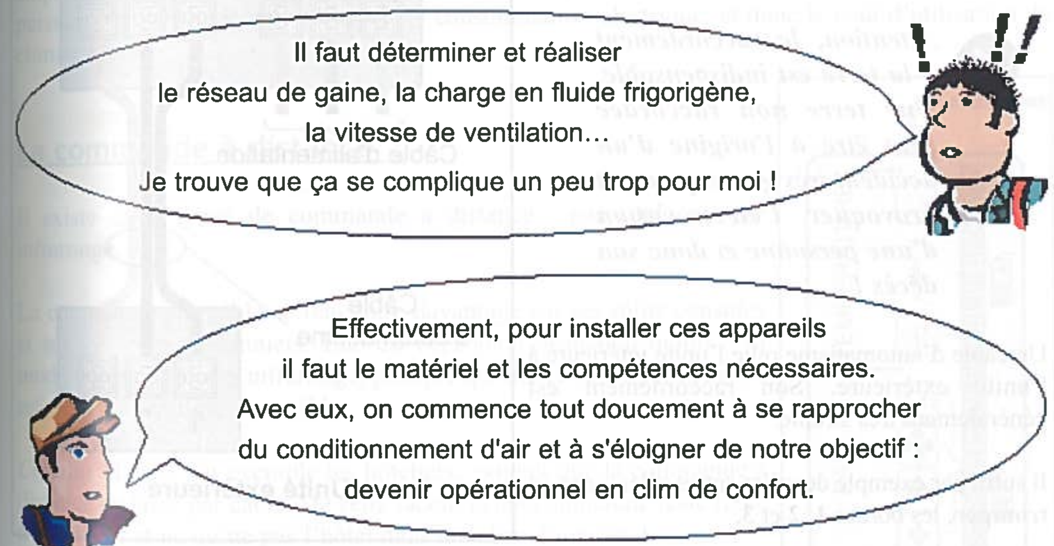
Ces appareils couvrent une gamme de puissance d’environ 5 à 12 kW en froid seul ou en réversible.

Le plafonnier avec réseau de gaine :

Le plafonnier avec réseau de gaine est un appareil complètement encastré dans le faux plafond. Il nécessite la réalisation d’un réseau de gaine pour aspirer et pour souffler l’air dans le local.

La puissance de ces splits commence à environ 5 kW et peut atteindre plusieurs dizaines de kW. Notez qu’il est fréquent sur ce type de climatiseur que la charge en fluide frigorigène doive être réalisée par l’installateur.

En plus, pour obtenir un bon débit d’air dans le local, la ventilation doit être déterminée avec le plus grand soin pour correspondre aux caractéristiques du réseau de gaine.



En effet on commence avec ces appareils à changer de catégorie de matériel. Néanmoins, notez que le fonctionnement du circuit frigorifique est absolument identique.

C’est pourquoi les techniques de dépannage que nous verrons très bientôt resteront valables quel que soit le type de split installé.

Les dimensions, le poids :

Il faut que l'appareil puisse être installé à l'emplacement prévu en tenant compte du mobilier existant et des ouvertures de porte ou de fenêtre.

Alors, faites particulièrement attention à la largeur et à la hauteur de l'appareil avant de choisir son emplacement.

Les fixations doivent être capables de supporter le poids de l'appareil (44 kg pour le modèle Kotz 12-PA). Alors, faites attention à la nature du mur ou de la cloison. ***Vous auriez bonne mine si l'appareil se décrochait peu après la mise en service !***

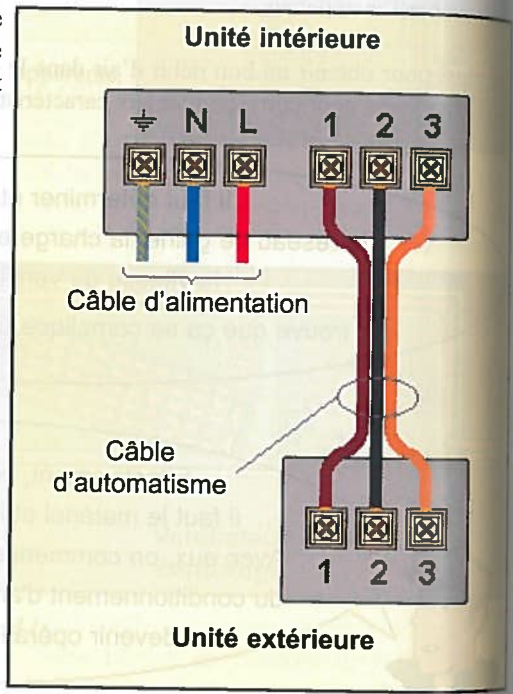
La tension, l'intensité et la puissance électrique :

Généralement, le raccordement électrique des climatiseurs de confort n'est jamais très compliqué.

Les splits ayant une puissance frigorifique inférieure à 5 kW sont généralement alimentés en courant monophasé 220V.

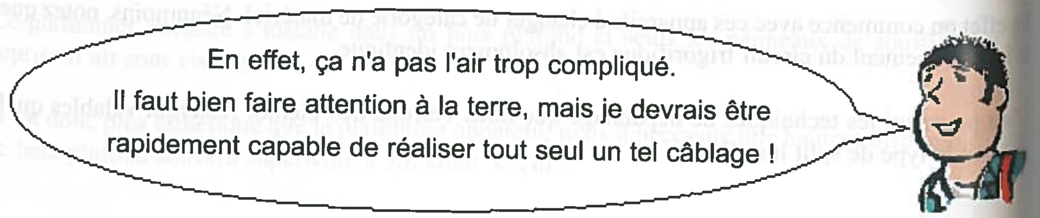
Le câble d'alimentation à 3 fils doit être raccordé sur les bornes L, N et **Terre** de l'unité intérieure (par convention, le fil de terre est bicolore vert et jaune).

Attention, le raccordement à la terre est indispensable. Une terre non raccordée peut être à l'origine d'un accident très grave, pouvant provoquer l'électrocution d'une personne et donc son décès !



Un câble d'automatisme relie l'unité intérieure à l'unité extérieure. Son raccordement est généralement très simple.

Il suffit par exemple de relier entres-elles, sans se tromper, les bornes **1**, **2** et 3.



La notice technique indique les valeurs de U (tension d'alimentation), de I (intensité absorbée) et de P (puissance absorbée) des unités intérieures Kotz 2,0-MI et Kotz 12-PI.

	Grandeurs	Kotz 2,0-MA	Kotz 12-PA
Unité intérieure	Référence	Kotz 2,0-MI	Kotz 12-PI
	Couleur	Ivoire	Ivoire
	Dimensions (H x L x P)	360 x 800 x 1200 mm	240 x 1500 x 650 mm
	Poids	9 kg	44 kg
	U / I / P	**220V / 0,17A / 35W**	**220V / 0,28A / 55W x 2**
	Commande	à distance infra rouge	à distance par câble
	Niveau sonore	36 dBA	57 dBA
	Ventilateur type	tangentiel x 1	centrifuge x 4
	Débit d'air PV	3,6 m³/min	20 m³/min
	MV	4,7 m³/min	24 m³/min
	GV	5,7 m³/min	28 m³/min
	Filtre à air	amovible, lavable	amovible, lavable

Dans l'unité intérieure, Il n'y a que le ventilo-évaporateur (notez qu'il y a 2 moteurs et 4 ventilateurs dans le Kotz 12-PA). Ces indications électriques correspondent donc aux caractéristiques du ventilateur, selon le modèle. En particulier, la tension d'alimentation doit être connue avant d'installer l'appareil. Les caractéristiques électriques sont également souvent utiles pour la maintenance ou le dépannage : on peut facilement mesurer l'intensité absorbée avec une pince ampèremétrique et la comparer à celle indiquée par le constructeur. La connaissance de la puissance absorbée permet d'évaluer la consommation électrique, et donc le coût d'utilisation du climatiseur.

La commande à distance :

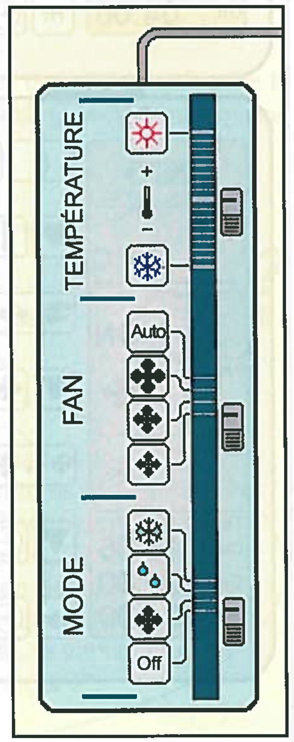
Il existe deux types de commande à distance : par câble ou par infrarouge.

La commande par câble se rencontre davantage sur les splits consoles et sur les splits plafonniers. Elle est cependant beaucoup moins à la mode que sa copine à infrarouge, puisqu'elle reste en permanence reliée à l'appareil par son câble.

Certains clients, par exemple les hôteliers, exigent que la commande à distance se fasse par câble. De cette façon, la télécommande reste fixée à l'appareil et ne quitte pas l'hôtel dans la valise d'un client.

Le croquis ci-contre nous montre une commande à distance par câble avec différentes fonctions : thermostat (température), vitesses de ventilation (fan) et mode de fonctionnement (mode).

Notez que certaines télécommandes à câble sont équipées en plus d'un système de programmation (timer) qui permet d'automatiser la mise en marche ou l'arrêt du climatiseur…

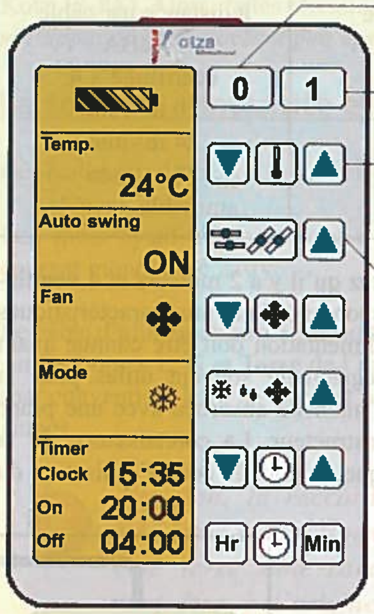


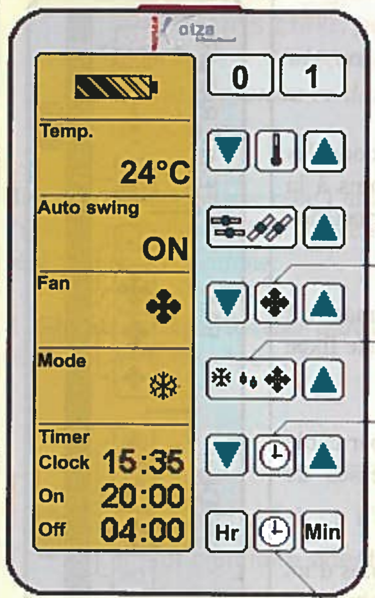
Divers

Quel que soit le type de commande à distance, on retrouve quasiment toujours les mêmes fonctions. Nous allons observer la télécommande à infrarouge ci-dessous qui est un peu plus complète.

Cette commande n'a aucun câble de liaison à l'unité intérieure (elle ressemble un peu à une télécommande de téléviseur).

Examinons différentes fonctions qu'on est susceptible de rencontrer (liste non limitative) :





Arrêt : pour arrêter le climatiseur

Marche : pour mettre en route le climatiseur

Thermostat : La température affichée sur la télécommande (ici, 24°C) correspond à la température de consigne réglée à l'aide des 2 flèches ▲ et ▼

Auto swing : permet de régler les volets motorisés placés au soufflage. Un appui sur la flèche donne accès à un menu qui permet soit d'orienter les volets dans une position fixe, soit d'obtenir un mouvement de balayage permanent.

Fan : permet de choisir la vitesse de ventilation (petite, moyenne, grande, automatique). En mode automatique, c'est le microprocesseur qui détermine la vitesse de ventilation optimale en fonction de la différence de température entre l'ambiance et la consigne (plus cette différence est importante et plus la vitesse est grande).

Mode : permet par un menu de choisir l'un des modes de fonctionnement du climatiseur (voir détails page suivante).

Horloge : permet de programmer l'heure de mise en route et l'heure d'arrêt du climatiseur. Dans l'exemple, l'appareil climatise une chambre à coucher et il serait inutile de le laisser fonctionner toute la journée. L'horloge est donc programmée pour démarrer (On) le climatiseur tous les jours à 20h00 et pour l'arrêter (Off) à 4h00 du matin.

Heure : pour mettre l'horloge à l'heure.

Les modes de fonctionnement d'un climatiseur :

Le bouton " Mode " vu page précédente permet de choisir le mode de fonctionnement du climatiseur.

Le fonctionnement en ventilation (FAN) :

Lorsque vous sélectionnez ce mode de fonctionnement, seul le ventilateur de l'unité intérieure peut fonctionner (le compresseur reste à l'arrêt). Le climatiseur fonctionne alors comme un simple ventilateur qui brasse et filtre l'air ambiant.

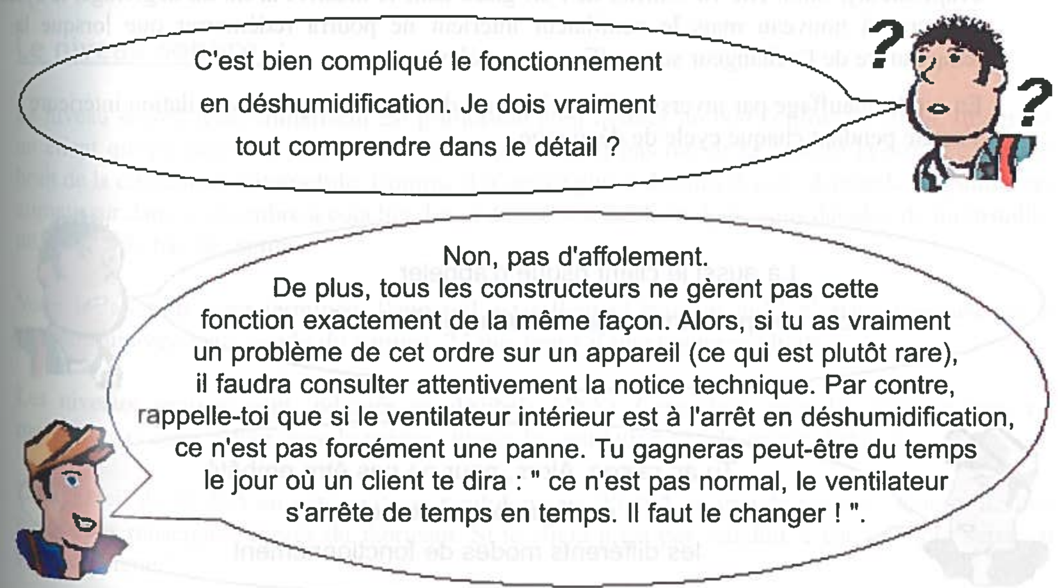
Le fonctionnement en froid (COOL) :

C'est le mode de fonctionnement le plus utilisé. Le ventilateur de l'unité intérieure fonctionne alors en permanence afin d'avoir une température homogène dans le local. Le compresseur ne s'enclenche que si la température du local dépasse la température réglée sur le thermostat (dans l'exemple 24°C).

Le fonctionnement en déshumidification (DRY) :

Cette fonction n'a pas la prétention de contrôler avec précision l'hygrométrie du local. Elle permet simplement d'éviter que l'humidité n'augmente trop en forçant la mise en route du circuit frigorifique. Le microprocesseur gère alors au mieux la déshumidification de l'air et la température ambiante. Dans ce mode, ne soyez pas surpris si le ventilateur de l'unité intérieure s'arrête de temps en temps.

En coupant la ventilation, le microprocesseur provoque une chute de la BP ce qui active la déshumidification (nous verrons cela plus en détails un peu plus tard, en étudiant la panne de l'évaporateur trop petit).



Le fonctionnement en chauffage (HEAT) :

Le chauffage peut-être réalisé de deux façons différentes : avec des résistances électriques ou par inversion de cycle.

Cas des résistances électriques :

La ventilation fonctionne en permanence. Les résistances sont asservies au thermostat qui les enclenche quand la température diminue en dessous de la consigne. Pour éviter les risques d'incendie, un thermostat de sécurité contrôle la température de l'air à proximité immédiate des résistances. Si cette température augmente exagérément (par exemple parce que le ventilateur est en panne, ou encore parce que les filtres sont très encrassés ce qui réduit considérablement le débit d'air) le thermostat de sécurité coupe aussitôt l'alimentation électrique des résistances.

Cas de l'inversion de cycle :

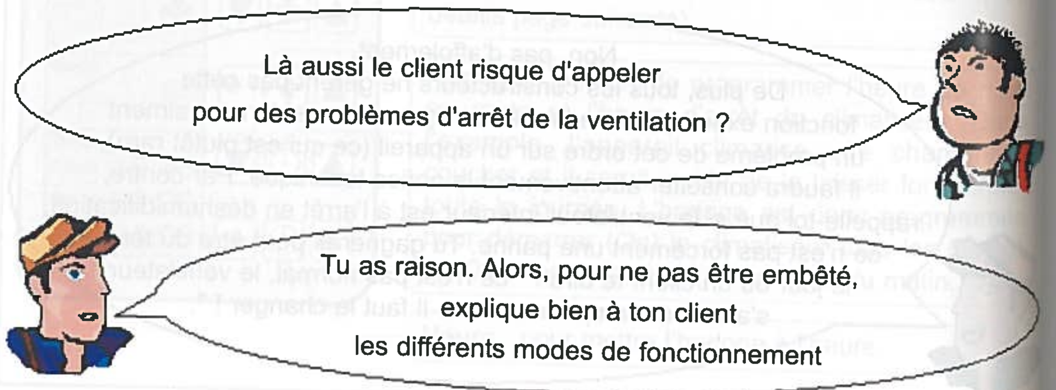
L'unité intérieure, *qui est un évaporateur en été*, devient *un condenseur en hiver* grâce à une petite vanne à quatre voies que nous étudierons *page 347*. La chaleur est alors absorbée à l'air atmosphérique par l'unité extérieure (qui est devenue un évaporateur) puis rejetée dans le local.

Ainsi, en mode chauffage, le cycle est inversé et l'évaporateur est placé dehors. Cependant, rappelez-vous que la température d'évaporation est égale à la température de l'air à l'entrée de l'évaporateur – le ΔT total. C'est pourquoi, quand la température extérieure est faible, la température d'évaporation diminue et l'évaporateur a tendance à givrer. Le microprocesseur ordonne donc régulièrement un cycle de dégivrage.

Pour effectuer le dégivrage, la vanne quatre voies inverse à nouveau le cycle frigorifique et l'échangeur de l'unité extérieure (qui est givré) redevient un condenseur (l'afflux de chaleur provoque alors très rapidement le dégivrage).

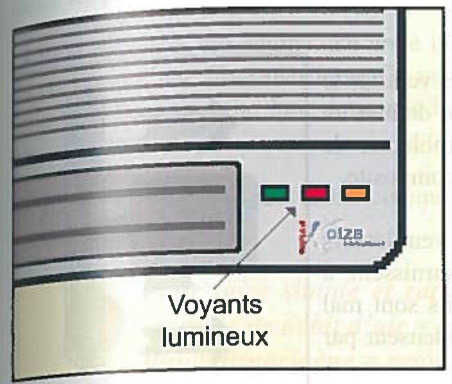
A ce moment il est impératif d'arrêter la ventilation de l'unité intérieure (redevenue évaporateur), sinon elle va souffler de l'air glacé dans le local. A la fin du dégivrage, le cycle s'inverse à nouveau mais le ventilateur intérieur ne pourra redémarrer que lorsque la température de l'échangeur sera suffisamment élevée.

En mode chauffage par inversion de cycle, il est donc normal que la ventilation intérieure s'arrête pendant chaque cycle de dégivrage.



La plupart des constructeurs équipent leurs petites unités intérieures de voyants lumineux qui indiquent le mode de fonctionnement.

Sur les petits appareils réversibles, on trouve souvent trois voyants :



- Visualisation du mode climatisation.
- Visualisation du mode chauffage.
- Le voyant Hot Keep.

Le voyant Hot Keep ne s'allume qu'en mode chauffage pour signaler que la température de l'échangeur intérieur n'étant pas suffisamment importante, le démarrage du ventilateur n'est pas autorisé. Il s'allume donc généralement à la mise en service de l'appareil en mode chauffage ou pendant un dégivrage.

Ce voyant peut parfois rendre service en cas de panne du climatiseur. Par exemple, s'il manque du fluide frigorigène dans le circuit (parce qu'il y a une fuite), il y aura beaucoup moins de chaleur absorbée à l'air extérieur par l'évaporateur et donc de chaleur rejetée par l'échangeur placé à l'intérieur du local.

La température de ce dernier risque alors d'être insuffisante pour permettre la mise en route du ventilateur. Le voyant Hot Keep restera donc allumé. Attention ce petit tuyau n'est pas une méthode de dépannage, c'est simplement un indice supplémentaire.

Si vous n'avez pas tout compris, ne vous affolez pas : les climatiseurs réversibles seront étudiés en détails page 347 et les modèles Inverter réversibles page 407.

Le niveau sonore :

Le niveau sonore d'un climatiseur est primordial pour assurer un bon confort au client. Imaginez un client qui ne supporte plus la chaleur et qui ne peut pas ouvrir sa fenêtre la nuit à cause du bruit de la circulation automobile. Comme il n'arrive plus à dormir, il vous demande d'installer un climatiseur dans sa chambre à coucher. Étant donné son faible budget, vous décidez de lui installer un produit de bas de gamme.

Votre installation étant terminée, l'appareil est tellement bruyant qu'il n'arrive toujours pas à dormir. Lui avez-vous vendu du confort ? Vous fera-t-il une bonne publicité ?

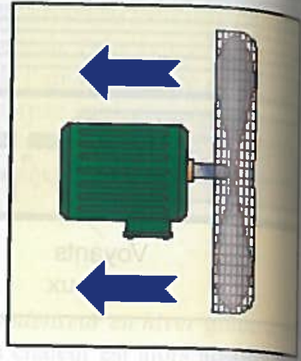
Les niveaux sonores sont indiqués en décibels (dbA). Cependant, tous les constructeurs ne mesurent pas cette valeur avec la même vitesse de ventilation ni à la même distance.

Un appareil de 36 dbA en petite vitesse peut dépasser 45 dbA en grande vitesse : alors n'hésitez pas à vous renseigner auprès du fabricant. Si le client n'est pas satisfait, c'est vous qui serez en première ligne !

Les ventilateurs :

En climatisation de confort, on rencontre essentiellement trois types de ventilateurs : hélicoïde, tangentiel ou centrifuge.

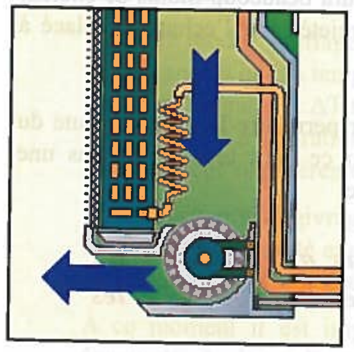
Le ventilateur hélicoïde :



Il est utilisé dans la plupart des unités extérieures pour ventiler le condenseur. Les hélices en alliage ont l'inconvénient de donner un fonctionnement plutôt bruyant. Pour minimiser ce problème, de nombreux constructeurs fabriquent des hélices en fibre composite.

L'air circule de façon horizontale et rectiligne. Ces ventilateurs peuvent véhiculer des débits importants mais ils fournissent à l'air une pression relativement faible. C'est pourquoi ils sont mal adaptés si l'on a besoin de faire circuler l'air sur le condenseur par l'intermédiaire d'un réseau de gaine.

Le ventilateur tangentiel :



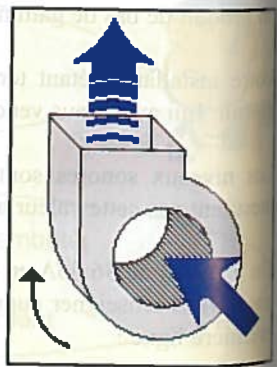
Cette technologie de ventilateur (déjà vu *page 161*) est très utilisée dans les unités intérieures. Son principal atout est son faible niveau sonore. Il est si peu bruyant que sur les petits climatiseurs (jusqu'à une puissance frigorifique d'environ 2 kW) le tube capillaire est souvent placé dans l'unité extérieure.

En effet, le faible niveau sonore du ventilateur ne couvre même pas le léger sifflement du fluide qui traverse le détendeur au démarrage ou à l'arrêt du compresseur.

L'air circule tangentiellement dans la roue du ventilateur. Les débits et les pressions obtenus sont relativement faibles. Dans tous les cas, on ne peut pas utiliser ces ventilateurs pour souffler dans un réseau de gaine.

Le ventilateur centrifuge :

En climatisation de confort, il est surtout utilisé dans les unités intérieures des splits de type console ou plafonnier.

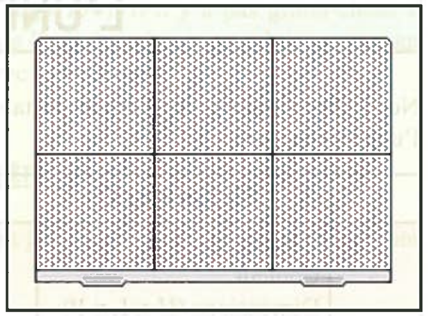


Son principal atout est qu'il fournit une pression suffisamment importante pour permettre une distribution par réseau de gaine ou pour augmenter la portée du soufflage du climatiseur, c'est-à-dire la distance à laquelle l'air traité est projeté.

L'air est aspiré par le centre du ventilateur puis il est refoulé du côté de la sortie de " l'escargot ".

Contrairement aux autres ventilateurs, si le moteur d'un centrifuge tourne à l'envers, le sens de circulation de l'air ne change pas mais le débit d'air diminue de façon très importante.

Les filtres :

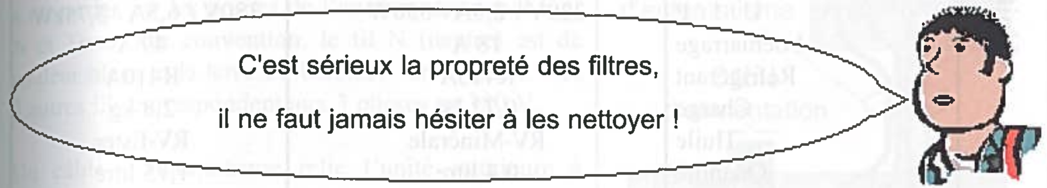


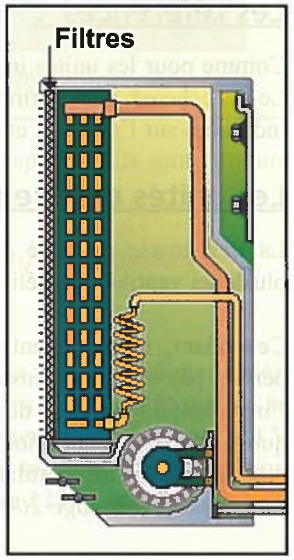
Les filtres qui équipent les climatiseurs de confort ne sont pas des " supers " filtres de haute qualité capables de piéger toutes les poussières.

Le filtre ci-contre, qui équipe une unité intérieure murale, est constitué d'une fibre plastique. Ce matériau permet le nettoyer à l'eau et il ne faut donc pas hésiter à le laver fréquemment.

Un filtre à air encrassé peut avoir comme conséquence la casse du compresseur.

Pour faire simple et rapide, nous pouvons dire : filtre encrassé = manque de débit d'air = mauvais échange de chaleur entre l'air et le fluide frigorigène = retour de fluide liquide au compresseur = coups de liquide = mort du compresseur.





Les filtres ont pour rôle de piéger les poussières qui pourraient encrasser sérieusement l'échangeur intérieur : ils sont donc placés à l'entrée de ce dernier.

Pour éviter les vibrations, les constructeurs préfèrent installer plusieurs filtres de petite taille (souvent 2) plutôt qu'un seul de grandes dimensions.

Comme vous pouvez le voir sur le croquis ci-contre, les filtres sont dissimulés derrière la grille de reprise de l'unité intérieure.

Sur les unités murales, ils se retirent en les faisant glisser verticalement vers le bas.

Le nettoyage des filtres est la seule maintenance que doit réaliser le client. Il faut donc l'avertir du danger d'un encrassement des filtres et le mettre sérieusement en garde.

S'il ne veut pas s'occuper lui-même du nettoyage des filtres, vendez-lui un contrat de maintenance !

Tous les installateurs devraient systématiquement proposer un contrat de maintenance à leurs clients. réfléchissez-y !

LA NOTICE TECHNIQUE : L'UNITÉ EXTÉRIEURE

Nous allons poursuivre l'étude du tableau de la *page 177* par l'analyse des caractéristiques de l'unité extérieure.

	Grandeurs		Kotz 2,0-MA	Kotz 12-PA
Unité extérieure	Référence		Kotz 2,0-EA	Kotz 12-EA
	Couleur		Ecru	Ecru
	Dimensions (H x L x P)		550 x 750 x 250 mm	1250 x 900 x 350 mm
	Poids		30 kg	120 kg
	Niveau sonore		55 dBA	60 dBA
	Ventilateur	type	hélicoïde x1	Hélicoïde x2
		Débit d'air	23 m³/min	88 m³/min
		U / I / P	220V / 0,13A / 25W	220V / 0,3A / 60W x2
	Compresseur	type	Herm. Rotatif x1	Herm. Scroll x1
		U / I / P	220V / 2,5A / 550W	380V / 6,5A / 3,75kW
		I démarrage	18 A	49 A
		Réfrigérant	R410A	R410A
		Charge	0,72 kg	2,8 kg
		Huile	RV-Minérale	RV-Ester
		Quantité	0,4 litre	1,75 litre

Les références :

Comme pour les unités intérieures, les références sont " la carte d'identité " exacte de l'appareil. Le cas échéant, elles permettent de commander des pièces détachées sans risque d'erreur. Elles sont indiquées sur l'appareil et en cas de besoin, elles doivent être relevées avec précision.

Les unités extérieures :

La très grosse majorité des unités extérieures à condensation par air est équipée d'un ou de plusieurs ventilateurs hélicoïdes.

Cependant, la réglementation locale (monuments classés, rue piétonne, copropriété, etc.) ne permet pas toujours d'installer cette unité à l'extérieur. On peut alors contourner le problème en l'installant à l'intérieur des locaux avec un petit réseau de gaine pour n'avoir de visible en façade que les grilles d'aspiration et de soufflage. Dans ce cas, les ventilateurs hélicoïdes risquent d'être mal adaptés et un ventilateur centrifuge est généralement utilisé pour conserver un débit d'air satisfaisant (*voir page 200*).

Une autre solution consiste à utiliser un groupe de condensation à eau. La chaleur absorbée dans le local est alors évacuée par l'eau. Attention, si la consommation d'air est gratuite, ce n'est pas le cas de l'eau !

Dans cette phase d'initiation, nous laisserons pour l'instant de côté les appareils utilisant de l'eau. Nous en parlerons un peu plus tard lors de l'étude des pompes à chaleur air-eau ou eau-eau.

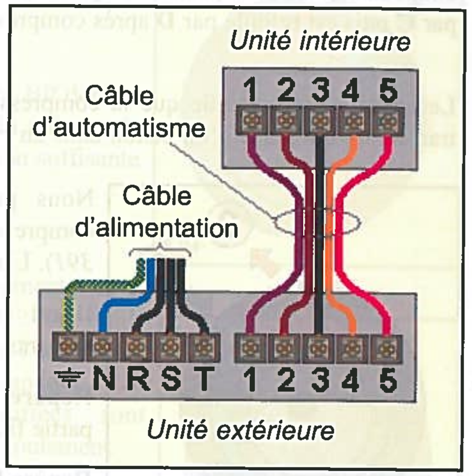
Les dimensions, le poids, le niveau sonore, les ventilateurs :

Le sujet a déjà été traité pour les unités intérieures (*voir page 194*). Il n'y a pas grand-chose à ajouter si ce n'est que l'emplacement et le niveau sonore de l'unité extérieure ne doivent surtout pas être pris à la légère afin d'éviter des gros problèmes avec le voisinage.

La tension, l'intensité et la puissance électrique :

Les splits d'une puissance frigorifique inférieure à 5 kW sont généralement prévus pour du courant monophasé 220 V.

Nous avons déjà parlé du raccordement électrique d'un tel climatiseur (*page 194*). Je vous propose donc à présent de regarder celui du climatiseur triphasé ci-dessous.



Quand la puissance augmente, l'utilisation de courant triphasé 380 V (ou 220 V dans certains pays) devient nécessaire. Le câble d'alimentation possède alors 5 fils à raccorder sur les bornes de l'unité extérieure R,S,T, N et Terre. Par convention, le fil N (neutre) est de couleur bleue et la terre est bicolore vert / jaune. Les 3 autres fils correspondent aux 3 phases en 380 V.

Un câble d'automatisme relie l'unité intérieure à l'unité extérieure.

Le câblage est généralement plutôt simple : il suffit de relier entres elles les bornes portant le même numéro (borne 1 à la borne **1**, borne **2** à la borne **2**, etc.).

Si le nombre de fils peut varier selon le constructeur et le modèle de l'appareil, ils sont toujours repérés par une étiquette ou par une couleur.

Dans tous les cas, il est impératif de respecter scrupuleusement le schéma de câblage fourni avec l'appareil.

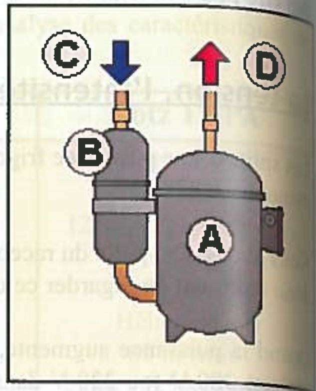
En ce qui concerne la partie électrique, il est impératif de connaître la tension d'alimentation disponible chez votre client. Il vaut mieux s'en assurer au moment du devis plutôt que de se retrouver avec un climatiseur 380 V triphasé alors que l'alimentation est en 220 V monophasé ! De plus, tout professionnel qui se respecte vérifie les tensions d'alimentation avant de raccorder son matériel. Si vous branchez un climatiseur 220 V sur du 380 V, il " grille " instantanément !

Les valeurs indiquant les caractéristiques électriques du ventilateur et du compresseur sont souvent utiles pour la maintenance. Comme pour l'unité intérieure, en utilisant une pince ampèremétrique, il sera facile de comparer l'intensité absorbée à celle indiquée par le constructeur.

Enfin, la puissance absorbée permet d'évaluer la consommation électrique et donc le coût d'utilisation du climatiseur.

Les compresseurs rotatifs :

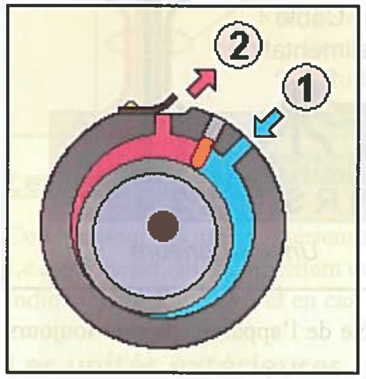
Jusqu'à présent, pour faciliter les explications, nous avons utilisé un compresseur hermétique à pistons. Cependant, la majorité des climatiseurs de confort sont aujourd'hui équipés d'un compresseur hermétique rotatif (à palette ou spiro-orbital Scroll).



La figure ci-contre nous montre l'aspect extérieur d'un compresseur à palette. Le terme " hermétique " indique que le compresseur et le moteur sont enfermés dans une cloche parfaitement hermétique (**repère A**) et donc qu'ils ne sont pas réparables. En cas de problème, il faudra remplacer la cloche entière.

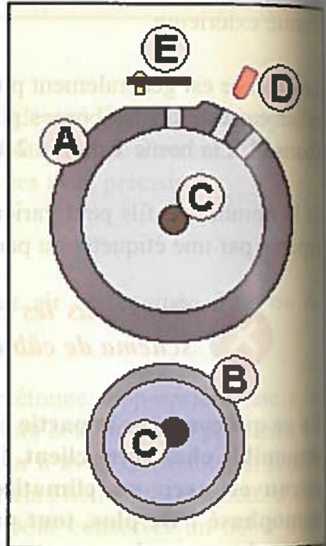
Ces compresseurs n'appréciant pas du tout le fameux " coup de liquide ", ils sont systématiquement équipés d'une bouteille anti-coups de liquide à l'aspiration (**repère B**). Notez que le fluide entre par **C** puis est refoulé par **D** après compression.

Le terme rotatif signifie que la compression est obtenue par un effet de rotation au lieu de la translation classique d'un piston dans un cylindre.



Nous pouvons voir à gauche la coupe simplifiée d'un compresseur à palette (nous parlerons des spiro-orbitaux *page 391*). L'aspiration du fluide se fait en **1** et le refoulement en **2**.

Il est composé des éléments suivants :



Repère A : le stator est la partie fixe du compresseur.

Repère B : le " piston roulant " appelé également " piston tournant " ou " excentrique ".

Repère C : l'arbre est dans l'axe du stator (schéma du dessus ci-contre) mais désaxé par rapport au piston tournant (schéma du dessous). La rotation de l'arbre est assurée par le moteur électrique.

Repère D : la palette mobile assure la séparation entre la HP et la BP. Elle reste en permanence en contact avec le piston roulant par l'intermédiaire d'un dispositif à ressort (non représenté).

Repère E : le clapet de refoulement.

Le compresseur rotatif présente de nombreux avantages par rapport à son homologue à pistons. Il a moins de pièces en mouvement, ce qui lui permet d'être plus fiable, moins bruyant, plus léger et de consommer moins d'énergie. Cependant, la technologie des rotatifs à palette reste limitée sur la plupart des climatiseurs à une gamme de puissance frigorifique inférieure à environ 7 kW.

Pourquoi ne réfléchiriez-vous pas un peu au fonctionnement de ce compresseur avant de continuer ?

Fonctionnement du compresseur rotatif :

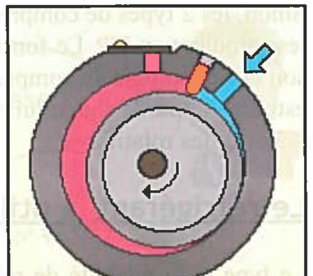


Fig. A

Figure A :
Le piston roulant est mis en rotation par l'arbre du moteur. Le stator reste fixe. Le volume de la chambre BP commence à augmenter.

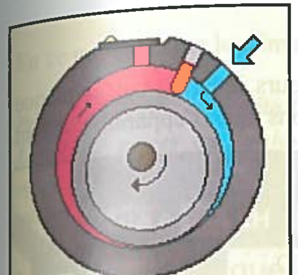


Fig. B

Figure B :
Le piston roulant poursuit sa rotation. Le volume de la chambre BP augmente en permanence en aspirant des vapeurs. Simultanément, le volume de la chambre HP diminue. La pression des vapeurs prisonnières de cette chambre augmente donc sans cesse. Pour l'instant, le clapet HP reste fermé.

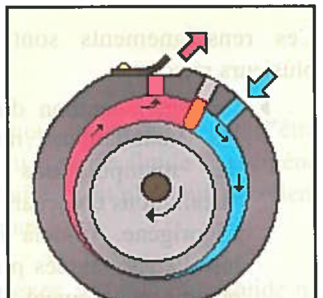


Fig. C

Figure C :
Les vapeurs continuent d'être aspirées dans la chambre BP dont le volume augmente sans cesse. A présent, la réduction du volume de la chambre HP a provoqué une augmentation de pression suffisante pour ouvrir le clapet de refoulement.

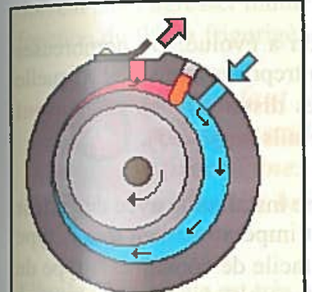


Fig. D

Figure D :
Le volume continue d'augmenter côté BP et de diminuer côté HP. Du fluide pénètre en permanence par l'aspiration. Simultanément, les vapeurs HP comprimées et surchauffées sont refoulés par le clapet de refoulement.

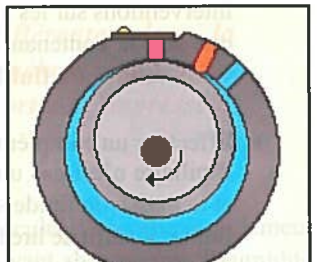
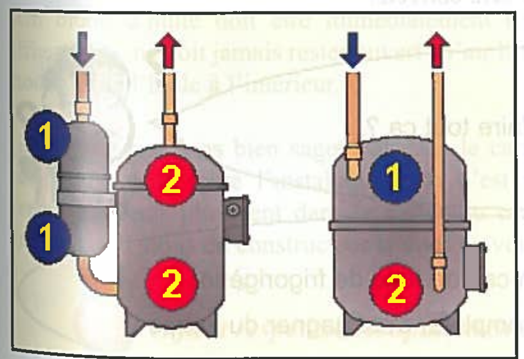


Fig. E

Figure E :
Le volume de la chambre BP est maximum et celui de la chambre HP minimum. L'aspiration et le refoulement du fluide s'arrêtent.

Le piston roulant vient de faire un tour complet et il va recommencer son cycle comme décrit à la figure A.



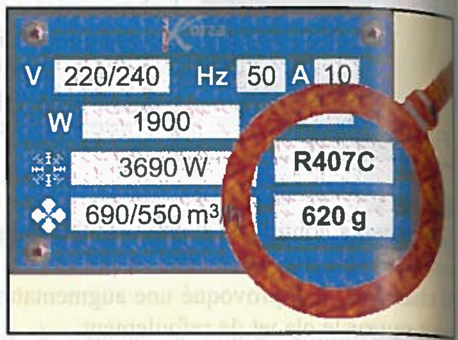
La principale différence entre un compresseur à palette (à gauche) et son homologue à pistons (à droite) saute aux yeux : le diamètre du rotatif à palette est plus faible et il est toujours équipé d'une bouteille anti-coups de liquide.

Notez en plus qu'en fonctionnement normal, toutes les parties repérées 1 sont plutôt fraîches et toutes celles repérées 2 plutôt très chaudes : alors méfiance, la cloche entière est brûlante dans le cas d'un rotatif à palette.

Sinon, les 2 types de compresseurs font exactement la même chose : ils aspirent des vapeurs BP et les refoulent en HP. Le fonctionnement du circuit frigorifique reste bien sûr identique quelle que soit la technologie du compresseur utilisé (heureusement !). A titre informatif, sachez que le moteur est refroidi par le fluide lui-même : les vapeurs BP pour les compresseurs à pistons et les vapeurs HP pour les rotatifs.

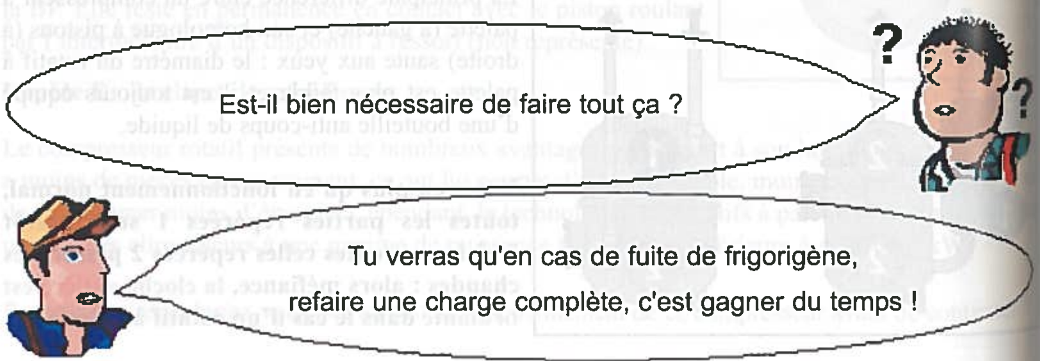
Le réfrigérant à utiliser :

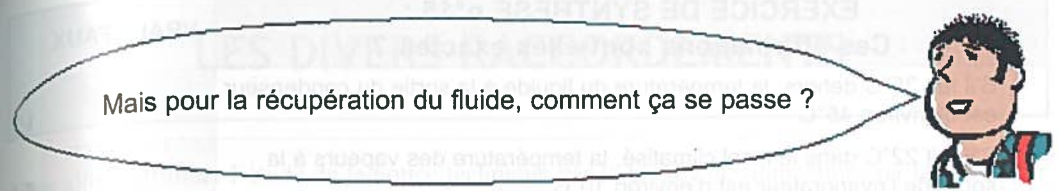
Le type et la quantité de réfrigérant utilisé dans l'appareil sont toujours indiqués sur sa plaque signalétique. Si nous observons la plaque ci-contre, nous constatons que l'appareil contient 620 grammes de fluide frigorigène R407C (ce fluide sera étudié *page 258*).



Ces renseignements sont très importants pour plusieurs raisons :

- La réglementation du 20ème siècle autorisait les installateurs non agréés à réaliser des manipulations frigorifiques sur les installations contenant moins de 2 kg de fluide frigorigène. Au-delà de cette charge, seuls les installateurs agréés pouvaient intervenir. Pour obtenir un agrément, ils devaient s'adresser à leur préfecture.
- Nous sommes maintenant au 21ème siècle et la réglementation a évolué. De nombreuses interventions sur les circuits frigorifiques sont interdites aux entreprises non agréées, quelle que soit la contenance en fluide de l'installation. **De plus, les distributeurs ne peuvent plus vendre de fluide à une entreprise non agréée (voir détails *page 425*).**
- Effectuer un complément de charge en fluide frigorigène sur une installation avec détendeur capillaire n'est pas une chose facile (voir *page 421*) car il faut impérativement que le type et la masse de fluide soient rigoureusement respectés. S'il est facile de connaître le type de fluide (il suffit de lire la plaque signalétique), comment savoir la quantité de réfrigérant restant dans un climatiseur dont le circuit frigorifique fuit ?
- La solution (surtout avec le R407C) est de vider complètement l'appareil à l'aide d'un groupe de récupération (la méthode sera étudiée *page 413*), puis de le charger avec le bon fluide et avec la quantité exacte indiquée sur la plaque. C'est le seul moyen d'être absolument certain que la charge en fluide sera correcte.





En ce qui concerne la climatisation individuelle, nous en parlerons *page 413*.

Pour une étude plus détaillée, voir le Manuel du Dépanneur, 6ème édition (du même auteur). Les 1387 pages en couleurs de ce manuel entièrement consacrées au dépannage pourront vous permettre d'enrichir et d'approfondir considérablement vos connaissances quand vous maîtriserez bien celles développées dans ce manuel.

L'huile frigorifique :

Quelle que soit la technologie du compresseur, toutes ses pièces en mouvement ont besoin d'être lubrifiées à l'aide d'une huile adaptée et qui en plus corresponde au type de fluide frigorigène utilisé. En effet, le fluide n'a aucun pouvoir de lubrification. Au contraire, c'est plutôt un excellent détergent qui a la faculté de nettoyer et de sécher les pièces mécaniques.

Les problèmes de lubrification sont la plupart du temps assez complexes : l'huile et le fluide ne doivent pas s'agresser mutuellement. Cela oblige les fabricants à utiliser différents types d'huile en fonction du fluide frigorigène utilisé et des conditions de fonctionnement.

Il ne faut jamais mélanger deux d'huiles différentes dans la même installation. Il ne faut jamais non plus mélanger 2 fluides frigorigènes différents. Dans les 2 cas, c'est la mort du compresseur assurée à brève échéance.

L'huile frigorifique est très hygroscopique. Cela signifie qu'elle a la faculté d'absorber rapidement l'humidité contenue dans l'air. Le gros problème, c'est qu'une huile ayant absorbé trop l'humidité risque de devenir acide et de perdre son pouvoir de lubrification.

Il ne faut jamais laisser l'huile en contact avec l'air et il ne faut aucune trace d'humidité dans une installation frigorifique.

Un bidon d'huile doit être immédiatement rebouché après utilisation. De même, un circuit frigorifique ne doit jamais rester ouvert à l'air libre car même s'il ne contient plus de fluide, il reste toujours de l'huile à l'intérieur.

L'huile ne reste pas bien sagement dans le carter du compresseur. Elle part par le refoulement et circule dans toute l'installation. Ce n'est pas un gros problème si l'huile qui part peut ensuite revenir librement dans le carter du compresseur. Alors, respectez scrupuleusement les recommandations du constructeur si vous ne voulez pas avoir de problèmes.

Il faut respecter scrupuleusement toutes les consignes de montage.

	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°15 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX
1	S'il fait 35°C dehors, la température du liquide à la sortie du condenseur est d'environ 45°C		
2	S'il fait 22°C dans le local climatisé, la température des vapeurs à la sortie de l'évaporateur est d'environ 10°C		
3	Les unités intérieures murales sont en général équipées d'un ventilateur centrifuge		
4	En fonctionnement froid, quand la température désirée est atteinte, le compresseur et le ventilateur de l'unité intérieure s'arrêtent		
5	Les unités extérieures sont en général équipées d'un ventilateur de type hélicoïde		
6	Si un ventilateur centrifuge tourne à l'envers, le sens de passage de l'air est inversé		
7	Généralement, la partie supérieure de la cloche d'un compresseur hermétique rotatif est fraîche, mais sa partie inférieure est chaude		
8	Généralement, la partie supérieure de la cloche d'un compresseur hermétique à pistons est fraîche, mais sa partie inférieure est chaude		
9	S'il ne faut jamais mélanger 2 fluides frigorigène différents, il n'y a aucun risque à mélanger 2 huiles différentes		

CORRIGÉ DE L'EXERCICE — VRAI / FAUX

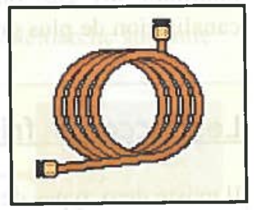
1 : Vrai. En considérant un ΔT_{total} tout à fait normal de de 15°C sur le condenseur, la HP est d'environ 50°C. En admettant un sous refroidissement tout à fait normal d'environ 5°C, le liquide sort effectivement du condenseur à 50°C. - 2 : Vrai. En considérant un ΔT_{total} tout à fait normal de de 18°C sur l'évaporateur, la BP est d'environ 4°C. En admettant une surchauffe tout à fait normale de 6°C, la température à la sortie de l'évapo est effectivement d'environ 10°C. - 3 : Faux. Il s'agit le plus souvent d'un ventilateur tangentiel, moins encombrant et plus silencieux. - 4 : Faux. Le ventilateur de l'unité intérieure tourne généralement en permanence. Cela permet entre autre d'assurer un bon brassage de l'air dans le local et donc de détecter rapidement une élévation de température. 5 : Vrai. Un ventilateur centrifuge peut néanmoins parfois se rencontrer quand l'unité est installée à l'intérieur des locaux et reliée à l'extérieur par un réseau de gaine. - 6 : Faux. contrairement aux ventilateurs hélicoïdes, l'air continue à passer dans le même sens. Par contre, le débit chute fortement. - 7 : Faux. La mécanique du compresseur rotatif est environné par les gaz de refoulement. L'intégralité de la cloche est donc très chaude. Attention à ne pas se brûler ! - 8 : Vrai. L'aspiration des gaz plutôt frais arrivant de l'évaporateur se fait souvent par le dessus de la cloche. L'huile étant dans le bas de la cloche, cette partie est plutôt chaude. - 9 : Faux. Dans certains cas, l'huile peut être portée à près de 100°C au refoulement du compresseur et à moins de -20°C dans l'évaporateur. Mélanger 2 huiles différentes entraînerait à coup sûr le décès prématuré du compresseur !

LES DIVERS RACCORDEMENTS

Nous allons terminer l'étude de la notice technique par la lecture des indications du fabricant sur les divers raccordements.

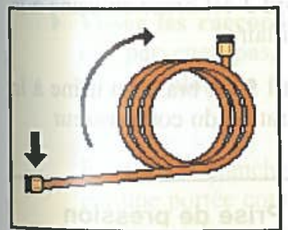
	Grandeurs	Kotz 2,0-MA	Kotz 12-PA
Raccordements	Tuyauterie liquide	1/4"	3/8"
	Tuyauterie gaz	3/8"	3/4"
	Type de raccordement	Quick	Flare
	Long. Tuyauterie Maxi	10 m	25 m
	Dénivelé maxi si :		
	Unité Ext au-dessus	5 m	20 m
	Unité Ext au-dessous	5 m	15 m
	Isolation des tuyauteries	Gaz et Liquide	Gaz et Liquide
	Evacuation condensats	Ø 16 mm	Ø 24 mm
	Câble d'alimentation	3G2,5	5G2,5
	Câble d'automatisme	3G1,5	8G1,5

Les tubes de qualité frigorifique :



Nous avons vu dans le chapitre précédent que l'humidité ne doit jamais pénétrer dans un circuit frigorifique. C'est pour cette raison qu'il faut utiliser des tubes en cuivre de qualité frigorifique. Les tubes frigorifiques livrés avec le climatiseur sont roulés en couronne et obturés aux 2 extrémités pour en protéger l'intérieur de l'humidité et d'éventuelles impuretés.

L'intérieur de ces tubes est *poli* puis *déshydraté* à la fabrication. En climatisation de confort, nous utilisons principalement cinq diamètres de tube : 1/4", 3/8", 1/2", 5/8" et 3/4". Ces dimensions correspondent au diamètre *extérieur du tube* et elles sont indiquées en pouce (1/4" = 1/4 de pouce). Notez que 1" = 25,4 mm, c'est-à-dire que 1/4" = 25,4 / 4 = 6,35 mm.



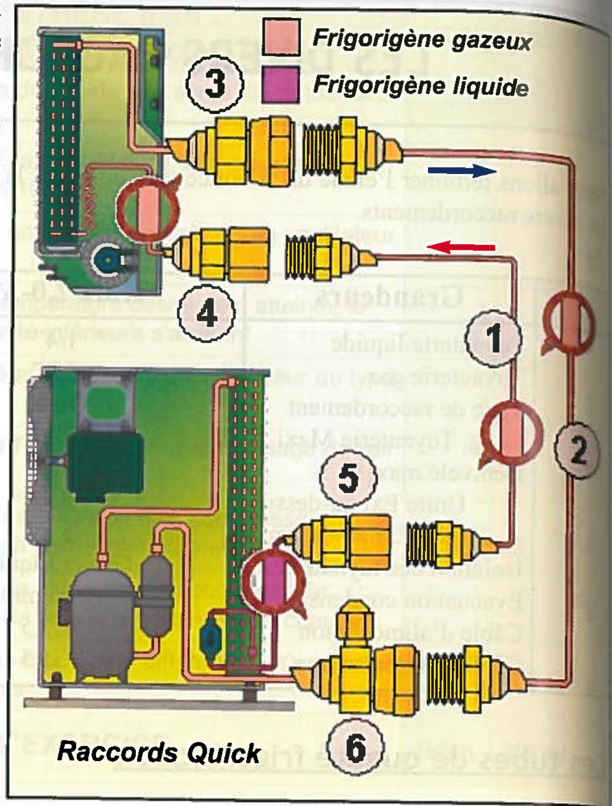
Pour travailler le cuivre, il faut commencer par dérouler *proprement* la couronne. Comme schématisé sur le croquis ci-contre, il faut dérouler *lentement* la couronne sur un sol bien plat en maintenant au fur et à mesure le tube déjà déroulé bien plaqué sur le sol à l'aide des pieds.

Ensuite, avant de raccorder les unités entre elles, il faut préparer la tuyauterie et réaliser les coudes qui permettront de suivre le cheminement souhaité. Selon le diamètre des tubes, les coudes peuvent être réalisés à la main, à la cintreuse ou à l'aide d'un ressort de cintrage adapté au diamètre du tube utilisé.

Le cintrage à la main n'est pas recommandé si vous manquez d'expérience, surtout pour les angles à petit rayon souvent nécessaires à la sortie de la cloison. Le risque est alors d'aplatir le tube. Dans ce cas, la libre circulation du fluide sera fortement compromise et à la mise en route de l'appareil, les ennuis risquent de commencer. Alors, entraînez-vous sur des chutes de tube !

Les liaisons frigorifiques entre les 2 unités se font par l'intermédiaire de deux tubes :

- *La tuyauterie liquide* relie la sortie du condenseur à l'entrée du détendeur (repère **1**)
- *La tuyauterie d'aspiration* relie la sortie de l'évaporateur à l'aspiration du compresseur repère **2**).



Ces deux tubes ont un diamètre différent :

- Le plus petit pour le liquide
- Le plus Gros pour le Gaz.

En effet, à masse égale, les gaz occupent beaucoup plus de volume que les liquides (de 20 à 30 fois plus, selon le fluide frigorigène et les conditions de pression et de température). C'est pourquoi les gaz ont besoin d'une canalisation de plus gros diamètre.

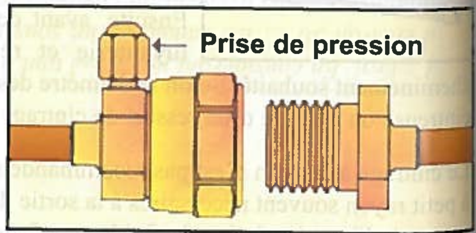
Les raccords frigorifiques de type Quick :

Il existe deux types de raccords appelés communément 'Quick' et 'Flare'.

Le raccord *Quick* (ce qui signifie *rapide* en anglais) équipe certains appareils déjà préchargés en fluide frigorigène. Ce raccord est constitué d'une partie mâle et d'une autre femelle prévues pour être vissées ensembles. C'est ce type de raccord qui équipe le split système représenté ci-dessus :

- *Sur l'unité intérieure*, **préchargée en fluide frigorigène**, le raccord **3** est brasé en usine à la sortie de l'évaporateur et le raccord **4** à l'entrée du détendeur capillaire.
- *Sur l'unité extérieure*, **également préchargée en fluide**, le raccord **5** est brasé en usine à la sortie du filtre (donc en sortie condenseur) et le raccord **6** à l'aspiration du compresseur

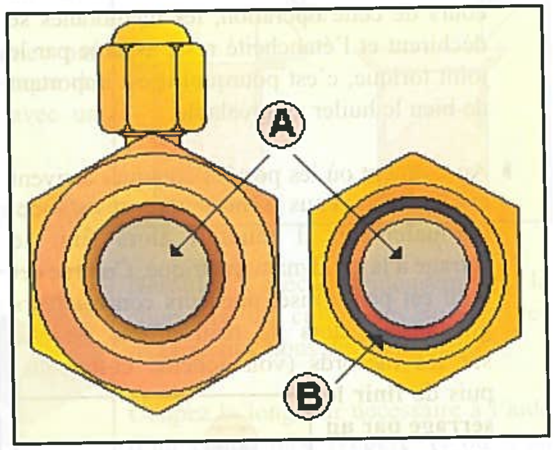
Une prise de pression, permettant de raccorder un manomètre, peut équiper certains raccords (c'est le cas du raccord **6** ci-dessus, placé à l'aspiration du compresseur).



Ce type de raccords n'équipe généralement que les tuyauteries de raccordement déjà préchargées en fluide frigorigène.

Les raccords Quick équipent des tubes préchargés en fluide frigorigène. Ils sont donc spécialement conçus pour être utilisés avec des unités intérieures et extérieures également déjà préchargées.

L'étanchéité est assurée sur chaque partie du raccord par une membrane métallique rigide (**repère A**).



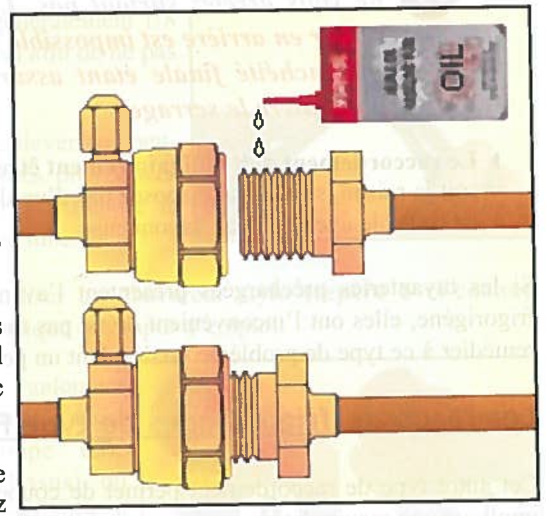
Pendant le serrage, la membrane se déchire, ce qui permet alors le passage du fluide frigorigène.

Les tuyauteries préchargées présentent donc l'avantage d'éviter de nombreuses manipulations frigorifiques pendant le montage.

Pendant le serrage, un joint torique (**repère B**) assure l'étanchéité.

Attention, après serrage, la membrane est déchirée. A ce moment, si vous dévissez le raccord, il y aura une grosse fuite de fluide frigorigène. Alors, rappelez-vous bien que ces raccords sont indémontables tant qu'il y a du fluide dans l'installation.

Pour ne pas avoir de problèmes lors du serrage, il est préconisé de suivre la démarche suivante :



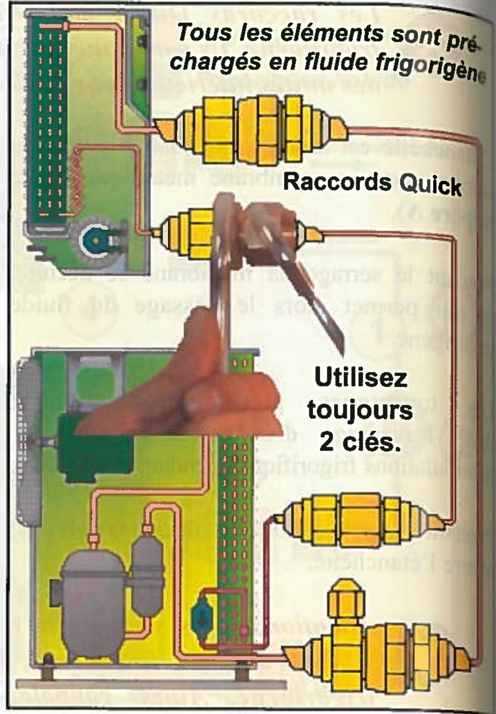
- **Préparer la tuyauterie** afin que les raccords de type mâle et femelle soient parfaitement alignés.
- **Enlever les bouchons** de protection en plastique.
- **Verser quelques gouttes d'huile frigorifique** (identique à celle du circuit) sur les filetages et le joint torique.
- **Visser les raccords à la main.** Si vous n'y parvenez pas, c'est qu'ils sont mal alignés, alors ne forcez surtout pas avec une clé.

  En effet, l'étanchéité finale est assurée par une portée conique et si vous abîmez le filetage, le tube préchargé et ses 2 raccords rapides seront inutilisables.

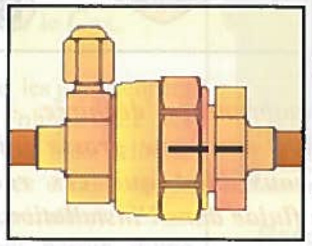
- Lorsque que les membranes métalliques arrivent en contact, vous sentez un " dur " et **vous ne pouvez plus continuer à visser manuellement.**

Pour le moment, les 2 tuyauteries et les 2 unités sont encore étanches, mais attention, c'est la dernière fois.

- Pour déchirer les membranes, vous devez **serrer à l'aide de deux clés**, une par raccord, afin d'éviter que le raccord mâle tourne et fasse vriller le tube cuivre. Au cours de cette opération, les membranes se déchirent et l'étanchéité reste assurée par le joint torique, c'est pourquoi il est important de bien le huiler au préalable.



- Au moment où les portées coniques arrivent en contact, vous sentez une résistance. Normalement, il faudrait alors finir le serrage à la clé dynamométrique. Comme cet outil est peu utilisé, plusieurs constructeurs préconisent alors de réaliser une marque sur les raccords (voir schéma ci-dessous) puis de **finir le serrage par un quart de tour supplémentaire**. Le couple de serrage est alors à peu près respecté.



Pendant le serrage, si vous décelez une fuite au niveau des jonctions, ne vous arrêtez surtout pas. Les membranes étant déchirées, tout retour en arrière est impossible sans provoquer une très grosse fuite. L'étanchéité finale étant assurée par une portée conique, il faut poursuivre le serrage.

- **Le raccordement doit obligatoirement être suivi d'un contrôle d'étanchéité**. Quelle qu'en soit la raison, si vous ne disposez pas d'un détecteur de fuite approprié, vous pouvez réaliser ce contrôle avec de l'eau savonneuse.

Si les tuyauteries préchargées présentent l'avantage d'éviter toute manipulation sur le fluide frigorigène, elles ont l'inconvénient de ne pas toujours être à la bonne longueur. On peut parfois remédier à ce type de problème en décalant un peu les unités pour ajuster la longueur.

Les raccords frigorifiques de type Flare :

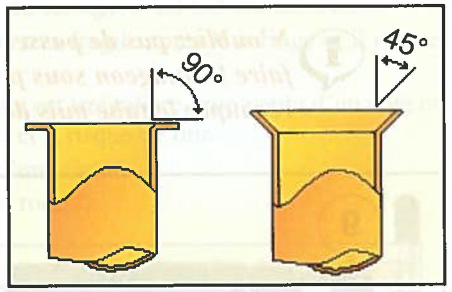
Cet autre type de raccordement permet de couper la tuyauterie à la bonne longueur, mais cela implique une manipulation sur le circuit frigorifique et donc davantage de compétences.

Le choix entre les raccordements Quick ou Flare est rarement possible. Cela obligerait les constructeurs à tenir en stock les deux types de raccords pour chaque appareil de leur gamme !

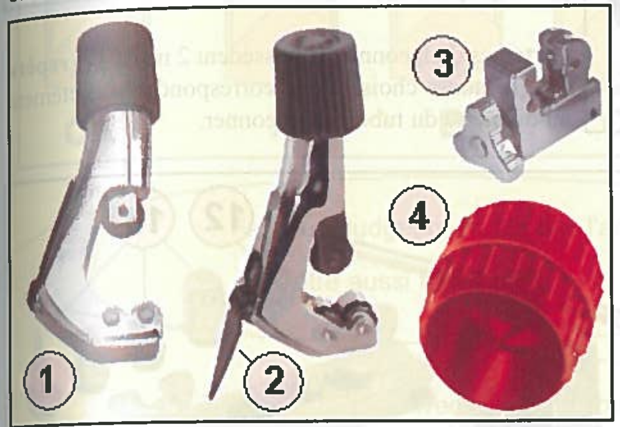
Il y a quelques années, la mode était au " tout Quick ". Aujourd'hui, elle est plutôt au " tout Flare ". Les choses peuvent encore changer mais en dépannage, vous serrez probablement amené à intervenir sur tous les types de raccords.

Le raccord Flare utilisé par les frigoristes nécessite un écrou spécial avec un évasement du tube particulier appelé dudgeon, à ne pas confondre avec le " collet battu " du plombier.

- L'angle de mise en forme est de 90° pour le collet battu mais de 45° pour le dudgeon.
- L'étanchéité du dudgeon est obtenue par l'écrasement du cuivre sur la portée conique du raccord (il n'y a pas de joint comme avec un collet battu).



Pour réaliser un dudgeon vous devez suivre la procédure suivante :



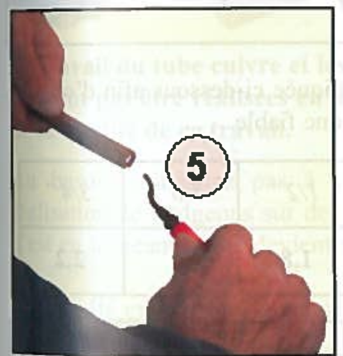
Déroulez précautionneusement la couronne de cuivre en suivant les recommandations de la *page 209*.

Coupez la longueur nécessaire à l'aide d'un coupe tube (**repère 1**) ou d'un mini coupe tube (**repère 3**).

Notez que l'utilisation d'une scie est formellement prohibée, le dudgeon obtenu serait à coup sûr de très mauvaise qualité, c'est-à-dire fragile et avec de gros risques de fuite.

N'allez pas trop vite et ne serrez pas trop fort (généralement 1/8 de tour de la poignée à chaque tour du coupe tube) afin de ne pas écraser exagérément le tube.

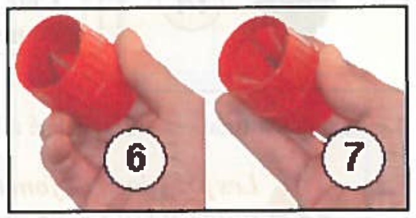




Ensuite il faut enlever soigneusement les bavures provoquées sur le tube par l'action de la molette du coupe tube.

Vous pouvez utiliser un ébavureur stylo (**repère 5** ci-contre), vraiment très pratique et simple d'emploi.

Vous pouvez également utiliser l'ébavureur intégré à certains coupe tube (**repère 2** ci-dessus) ou encore l'appareil (**repère 4**) permettant d'ébavurer à l'intérieur (**repère 6**) ainsi qu'à l'extérieur du tube (**repère 7**).

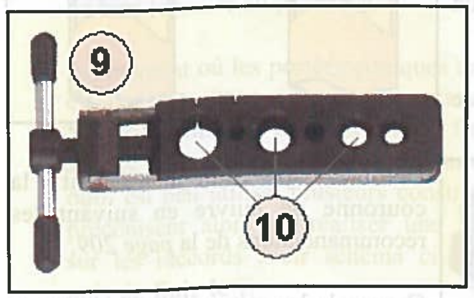


Ebavurez toujours le tube orifice vers le bas afin que les bavures ne tombent pas à l'intérieur : si le circuit frigorifique n'apprécie pas du tout l'humidité, il n'aime également pas les copeaux de cuivre !

Attention également à ne pas rayer l'intérieur du tube pendant l'ébavurage : le dudgeon risquerait de se fissurer au moment du serrage final sur le raccord.



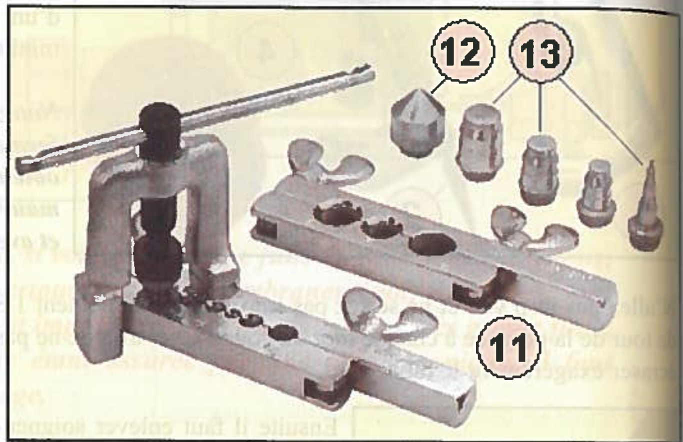
N'oubliez pas de passer l'écrou (repère 8) avant de faire le dudgeon sous peine d'être ensuite obligé de recouper le tube puis de recommencer l'opération !



Placez le tube dans la matrice (**repère 9**) spécialement conçue pour les dimensions courantes des tubes frigorifiques, exprimées en pouce (**repère 10**).

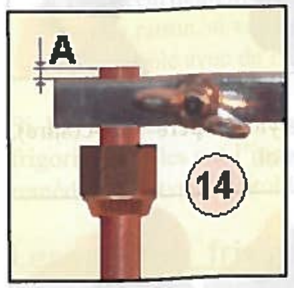
Certaines dudgeonnières possèdent 2 matrices (repère 11). Il faudra choisir celle correspondant exactement au diamètre du tube à dudgeonner.

On peut rencontrer différents types d'embouts. Seul l'embout conique (**repère 12**) permet de dudgeonner.



Les autres embouts de différents diamètres (**repère 13**) permettent d'évaser un tube pour réaliser des emboîtements.

Serrez parfaitement bien le tube dans les mors : il ne doit pas glisser lorsque vous serrerez l'étrier !



Le tube doit dépasser de la cote **A** indiquée ci-dessous afin d'obtenir un dudgeon de longueur correcte, et donc fiable.

Diamètre du tube	*1/4"*	*3/8"*	*1/2"*	*5/8"*	*3/4"*
Cote A en mm	**1,3**	**1,6**	**1,8**	**2**	**2,2**

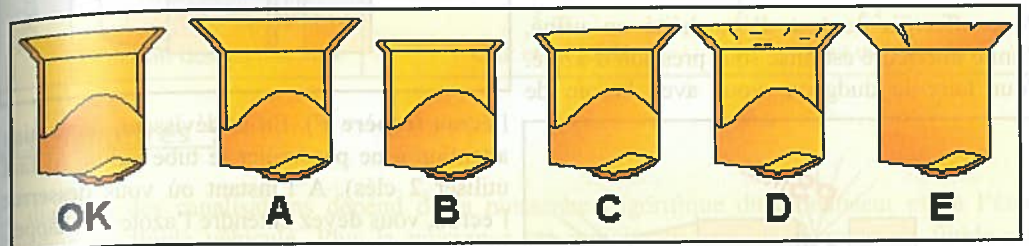
Le façonnage final est alors réalisé à l'aide de l'étrier.

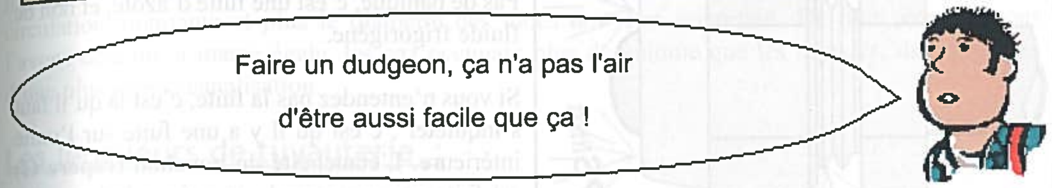


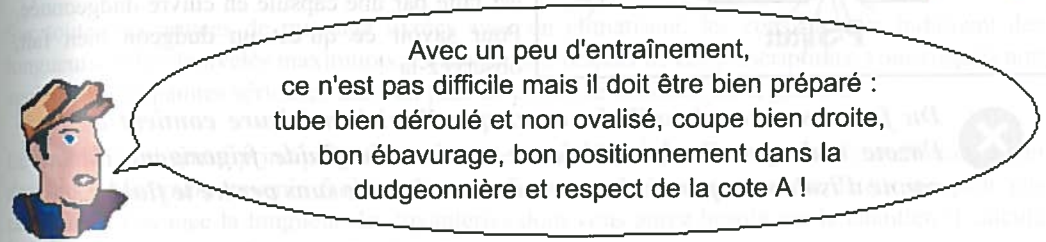
Les pressions de fonctionnement avec le fluide R410A sont environ 1,6 fois plus élevées qu'avec le R407C (ou le R22 dorénavant interdit). Alors respectez toujours scrupuleusement toutes les instructions du constructeur pour réaliser les dudgeons !

Vérifiez la qualité du dudgeon :

- *S'il est trop grand* ***(repère A)***, il sera difficile, voire impossible de visser l'écrou. Le cuivre ne pouvant pas s'écraser correctement au moment du serrage, c'est la fuite assurée.
- *S'il est trop petit* ***(repère B)***, il sera très fin et donc très fragile après le serrage et il risque de casser à un moment ou à un autre.
- *S'il est en biais* ***(repère C)***, la largeur de la collerette est irrégulière, trop petite d'un côté et trop grande de l'autre. Le dudgeon est alors fragile et il risque de fuir.
- *S'il est rayé* ***(repère D)***, c'est le signe précurseur d'une fissure.
- *S'il est fissuré* ***(repère E)***, il risque de fuir ou de se rompre.

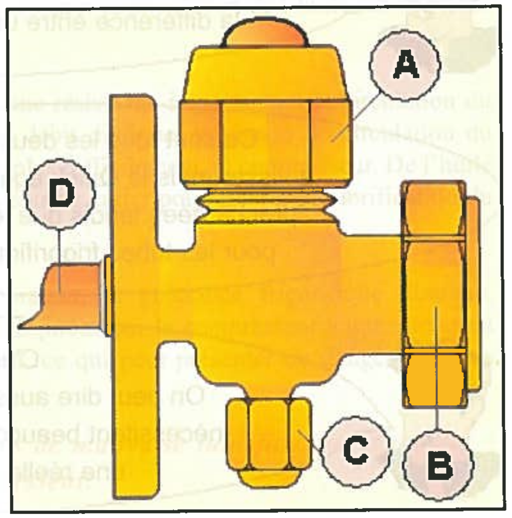






Le travail du tube cuivre et les divers raccordements sont les seules parties du circuit qui ne peuvent pas être réalisées en usine. La durée de vie d'un climatiseur dépend essentiellement de la qualité de ce travail.

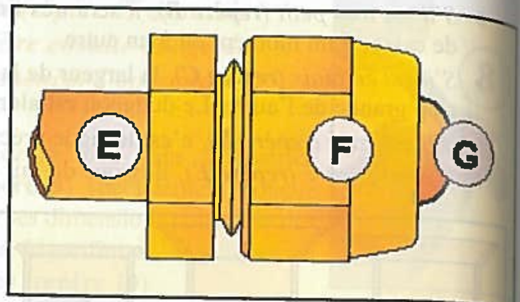
Au besoin, n'hésitez pas à vous exercer à la réalisation de dudgeons sur des chutes de cuivre : c'est en forgeant qu'on devient forgeron.



Côté unité extérieure, la vanne est livrée avec :

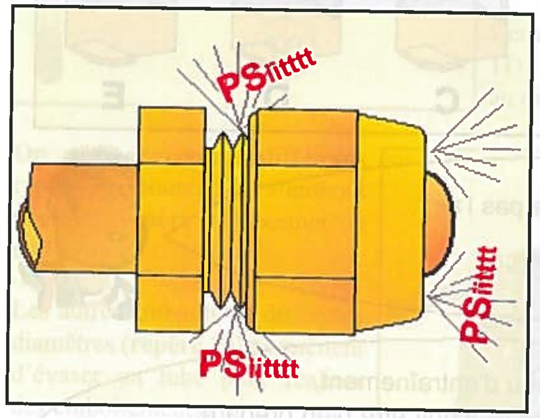
- Un écrou (**repère A**) à enfiler sur le tube avant de réaliser le dudgeon.
- Le bouchon (**repère B**) permettant d'accéder à la tige de commande de la vanne.
- La prise de pression (**repère C**) permettant le raccordement d'un manomètre.
- Le circuit frigorifique de l'unité extérieure est raccordé en usine (**repère D**).

Attention, la vanne doit obligatoirement être fermée avant de dévisser l'écrou (A). C'est du reste sa position à la livraison de l'appareil. Si ce n'est pas le cas, toute la charge en fluide frigorigène contenue dans l'unité extérieure risque de s'échapper.



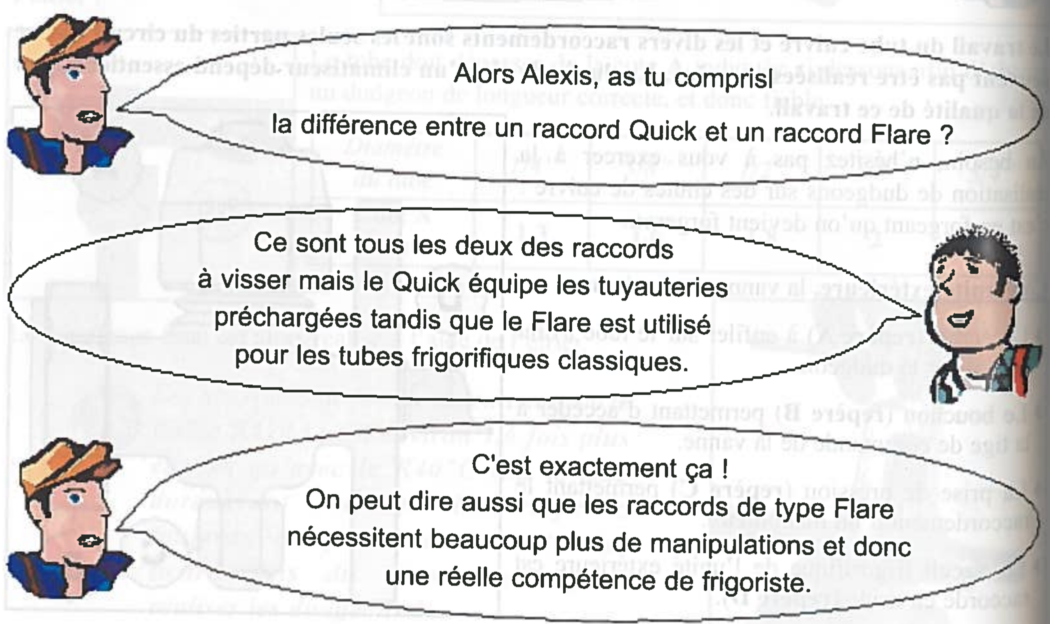
Côté unité intérieure, le raccord à visser mâle est brasé sur un tube cuivre **(repère E)**. Il est livré avec un écrou **(repère F)** qui est à enfiler sur le tube avant de réaliser le dudgeon. Le bouchon en cuivre **(repère G)** à un rôle important.

Pour effectuer le test d'étanchéité en usine, l'unité intérieure est mise sous pression d'azote. Pour faire le dudgeon, vous avez besoin de l'écrou **(repère F)**. En le dévissant, faites bien attention à ne pas vriller le tube cuivre (il faut utiliser 2 clés). A l'instant où vous desserrez l'écrou, vous devez entendre l'azote s'échapper. Pas de panique, c'est une fuite d'azote, et non de fluide frigorigène.



Si vous n'entendez pas la fuite, c'est là qu'il faut s'inquiéter : c'est qu'il y a une fuite sur l'unité intérieure. L'étanchéité du bouchon **(repère G)** est faite par une capsule en cuivre dudgeonnée. Pour savoir ce qu'est un dudgeon bien fait, observez-la !

Du fait des raccords utilisés, notez que l'unité intérieure contient de l'azote mais que l'unité extérieure contient du fluide frigorigène (la vanne d'isolement permet le raccordement du tube sans perdre le fluide).



Les liaisons frigorifiques :

	Grandeurs	Kotz 2,0-MA	Kotz 12-PA
Raccordements	Tuyauterie liquide	1/4"	3/8"
	Tuyauterie gaz	3/8"	3/4"
	Type de raccordement	Quick	Flare
	Long. Tuyauterie Maxi	10 m	25 m
	Dénivelé maxi si :		
	Unité Ext au-dessus	5 m	20 m
	Unité Ext au-dessous	5 m	15 m
	Isolation des tuyauteries	Gaz et Liquide	Gaz et Liquide

Les diamètres :

Le diamètre des canalisations dépend de la puissance frigorifique du climatiseur et de l'état physique du fluide véhiculé. Plus la puissance est importante, plus la quantité de fluide en circulation augmente et plus le diamètre des tubes doit être important. De plus, comme nous l'avons déjà dit, à masse égale, les gaz occupant plus de volume que les liquides, ils ont besoin d'une plus grosse canalisation.

Les longueurs de tuyauterie :

Sur toutes les notices de montage livrées avec un climatiseur, les constructeurs indiquent des longueurs et des dénivelés maximums. En cas de non-respect de ces prescriptions, vous risquez non seulement des pannes sérieuses mais en plus de perdre le bénéfice de la garantie.

Le problème provient principalement de l'huile frigorifique qui circule dans l'installation et qui doit impérativement revenir facilement au compresseur. Comme le constructeur ne peut pas connaître à l'avance la longueur des tuyauteries dont vous aurez besoin sur le chantier, il calcule les diamètres pour une longueur maximum.

Alors, si vous respectez les consignes de distance et de dénivelé, il n'y aura pas de problème. La vitesse de circulation du fluide restera suffisante pour assurer la circulation de l'huile et son retour dans le carter du compresseur.

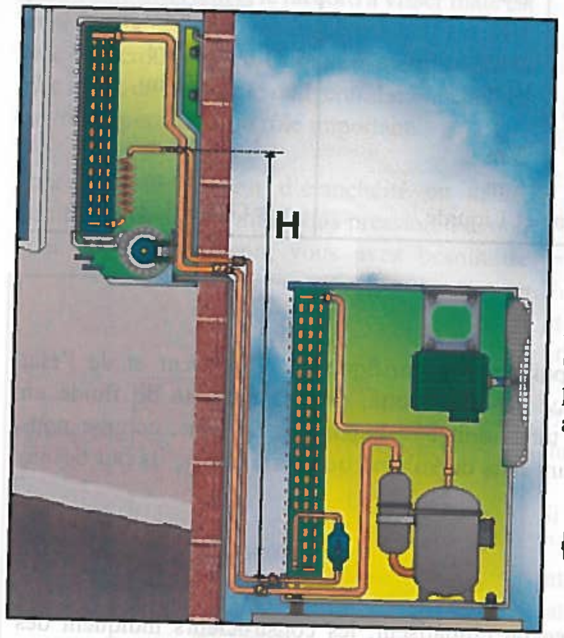
Si les tuyauteries sont trop longues, elles opposent une résistance importante à la circulation du fluide frigorigène dont le débit diminue. Comme le débit diminue, la vitesse de circulation du fluide diminue également et l'huile revient beaucoup plus difficilement au compresseur. De l'huile peut ainsi rester piégée dans le circuit au lieu de revenir au carter pour assurer la lubrification du compresseur.

De plus, le débit de fluide diminuant à l'évaporateur, la puissance frigorifique diminue, la surchauffe augmente, la température des vapeurs aspirées par le compresseur augmente aussi et le moteur du compresseur est moins bien refroidi, ce qui peut présenter un danger pour les enroulements électriques du moteur.

Tuyauteries trop longues = risques de mauvaise lubrification et de mauvais refroidissement du compresseur.

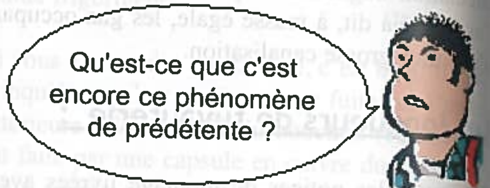
La différence de dénivelé :

Ce sont à nouveau les problèmes de retour d'huile, auxquels il faut ajouter les problèmes de prédétente, qui imposent une différence de dénivelé maximum entre les 2 unités.



Il y a deux possibilités : l'unité intérieure est située *au-dessus* de l'unité extérieure ou *l'inverse*.

Dans le cas de la figure ci-contre, l'huile n'a aucune difficulté pour retourner au compresseur : la tuyauterie d'aspiration étant descendante, elle peut revenir par gravité. Malheureusement un autre problème se pose. La tuyauterie liquide est montante ce qui engendre en haut de la colonne liquide une pression inférieure à celle qui règne en bas. Il y a alors risque de prédétente.

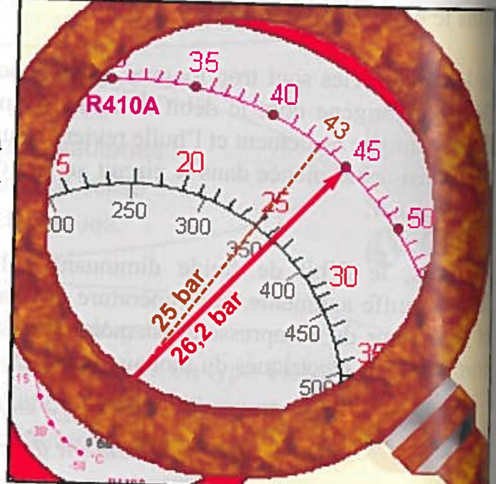


Qu'est ce que la prédétente ?

Pour commencer, le terme " prédétente " signifie que la détente du fluide frigorigène s'effectue *avant* le détendeur. Au lieu d'arriver à l'entrée du détendeur à l'état 100% liquide, le fluide est alors déjà à l'état de vapeurs saturantes.

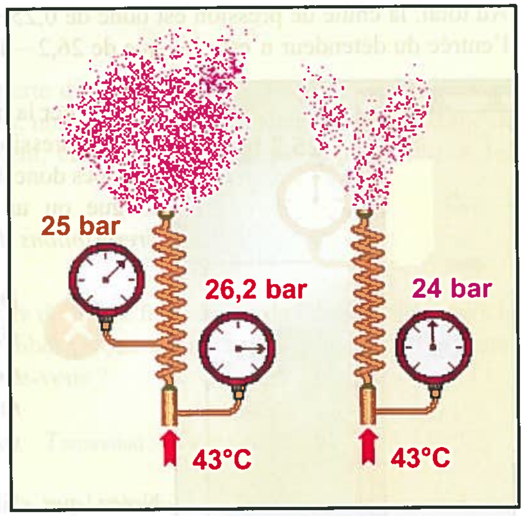
Comme il y a moins de liquide qui arrive dans l'évaporateur, il ne pourra plus absorber autant de chaleur. La conséquence immédiate de la prédétente est alors une chute de la puissance frigorifique et donc une montée intempestive de la température dans le local climatisé.

Comment se produit la prédétente ?



Avec une température de condensation de 45°C, la HP est de 26,2 bar avec le R410A. En admettant un sous-refroidissement de 2°C, le liquide sort du condenseur à 43°C.

Comme la relation pression température indique une pression de 25 bar à 43°C, *si la pression du liquide chute en un point quelconque en dessous de 25 bar*, une partie de ce liquide va obligatoirement se vaporiser : on dit alors qu'il se produit une prédétente…



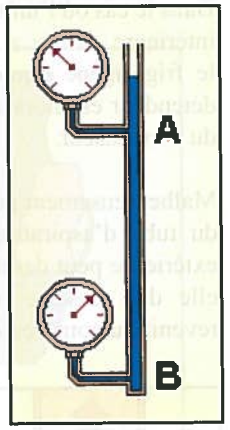
Comprenez bien que du liquide R410A à 43°C commence à se vaporiser dès que sa pression chute en dessous de 25 bar.

S'il arrive au détendeur à 26,2 bar, le R410A à 43°C est à l'état 100% liquide. Sa vaporisation ne commencera que lorsque l'effet de détente abaisse sa pression en dessous de 25 bar, *ce qui se produit à l'intérieur du capillaire.*

S'il arrive déjà au capillaire avec une pression inférieure à 25 bar (par exemple 24 bar), c'est qu'il est déjà en partie vaporisé. Il y aura à l'entrée de l'évaporateur moins de liquide et plus de vapeurs et donc une puissance frigorifique d'autant plus réduite que la prédétente est importante.

D'où viennent les chutes de pression ?

Les chutes de pression sont provoquées par les tuyauteries et par les accessoires. A chaque fois que le fluide traverse un élément du circuit (tuyauterie, vanne, déshydrateur, échangeur, etc.), cet élément oppose une résistance au passage du fluide frigorigène. La pression du fluide diminue alors légèrement. Cette perte de pression est appelée " perte de charge ". Attention, cela ne signifie pas qu'il y a une fuite, mais tout simplement que la pression du fluide diminue.



En plus, le dénivelé peut également faire chuter la pression.

Dans une colonne de liquide, la pression est plus élevée au pied de la colonne qu'en haut. Rappelez-vous du plongeur, plus il descend et plus la pression qu'il subit augmente car la pression est provoquée par le poids de la colonne d'eau au-dessus de lui (voir *page 32*). Dans notre exemple c'est la même chose, la pression en **B** est supérieure à la pression en **A**, la différence étant simplement due au poids de la colonne de liquide.

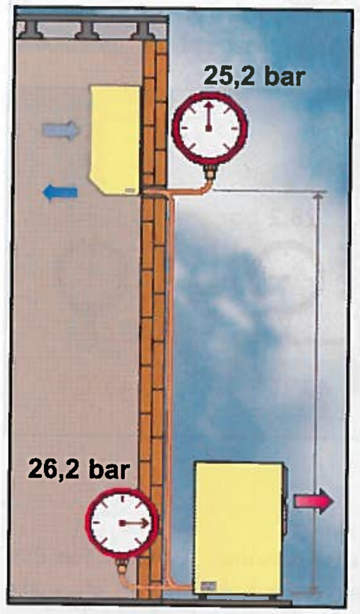
Une colonne de 1 mètre de R410A exerce une pression d'environ 0,1 bar.

Si la différence de hauteur entre **A** et **B** est de 5 m, la différence de pression est de 5 m x 0,1 bar soit 0,5 bar. C'est-à-dire que $\mathbf{P_B = P_A + 0{,}5\ bar}$ mais aussi que $\mathbf{P_A = P_B - 0{,}5\ bar}$.

Sur la ligne liquide du climatiseur Kotz 2,0-MA (voir *page 217*), il y a en plus les pertes de charge suivantes :

- le filtre déshydrateur : admettons une perte de charge moyenne de 0,25 bar.
- la longueur de la tuyauterie : avec 10 mètres maximum, la perte de charge peut être évaluée à environ 0,25 bar.
- la colonne de liquide : avec un dénivelé maximum de 5 mètres, la pression chute de 5 x 0,1 = 0,5 bar entre le bas et le haut de la colonne montante.

Au total, la chute de pression est donc de 0,25 + 0,25 + 0,5 = 1 bar. C'est-à-dire que la pression à l'entrée du détendeur n'est plus que de 26,2 – 1 = 25,2 bar.



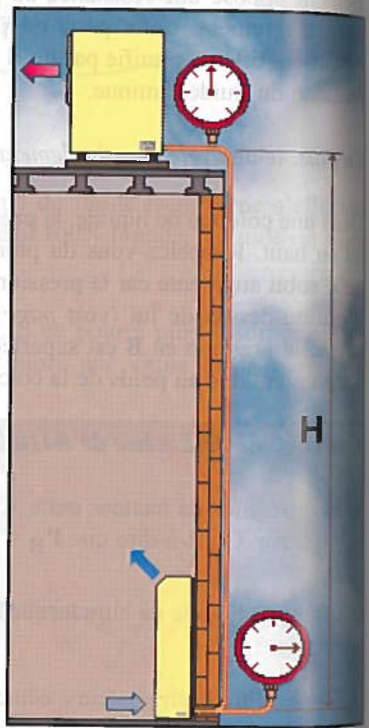
Pour éviter la prédétente dans notre exemple, il ne faut surtout pas que la pression du liquide chute en dessous de 25 bar. Nous sommes donc à la limite mais il ne faudrait pas une tuyauterie plus longue ou un dénivelé plus important : *alors, respectez les prescriptions du constructeur.*

Dans le cas où l'unité intérieure est située au-dessus de l'unité extérieure, il ne faut surtout pas dépasser le dénivelé maximum prévu par le constructeur, sous peine de créer une prédétente.

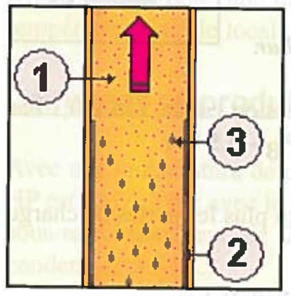
Notez que s'il y a une prédétente, le liquide commence sa vaporisation dans la ligne liquide en absorbant de la chaleur.

On peut alors mesurer une différence de température caractéristique entre le bas et le haut de la ligne liquide.

Dans le cas où l'unité extérieure est située au- dessus de l'unité intérieure, il n'y a plus de problème de prédétente puisque le frigorigène liquide descendant, la pression à l'entrée du détendeur est alors supérieure à la pression du liquide qui sort du condenseur.



Malheureusement pour nous, un autre problème provient alors du tube d'aspiration. En effet, si l'huile qui quitte l'unité extérieure peut descendre sans difficulté dans la ligne liquide, elle doit ensuite remonter tout le tube d'aspiration pour revenir au compresseur !



Il faut savoir que c'est la vitesse des vapeurs de frigorigène (**repère 1**) qui permet la remontée de l'huile (**repère 2**) tant que la vitesse des gaz reste supérieure à environ 5 mètres par seconde.

Cependant, si le dénivelé est trop important, l'huile ne parvient plus à remonter malgré l'action de la vitesse du fluide. Elle se décroche alors des parois (**repère 3**) et retombe par gravité pour s'accumuler dans le bas du tube. C'est alors le début de gros ennuis.

Vous éviterez bien des ennuis en respectant scrupuleusement les longueurs et les dénivelés maximums indiqués par le constructeur.

L'isolation des tuyauteries :

Pour éviter les problèmes de condensation et de perte de puissance frigorifique, il est nécessaire d'isoler la tuyauterie d'aspiration. Dans certains cas, nous verrons que l'isolation de la conduite de liquide peut également être indispensable. A présent, étudions ce qui se passe pour chacun des tubes.

Le tube d'aspiration :

Le tube d'aspiration est celui qui ramène les vapeurs de fluide frigorigène de l'évaporateur vers le compresseur. C'est donc le plus gros des deux tubes. Nous avons appris *page 174* comment évaluer la température de ce tube. Vous-en souvenez-vous ?

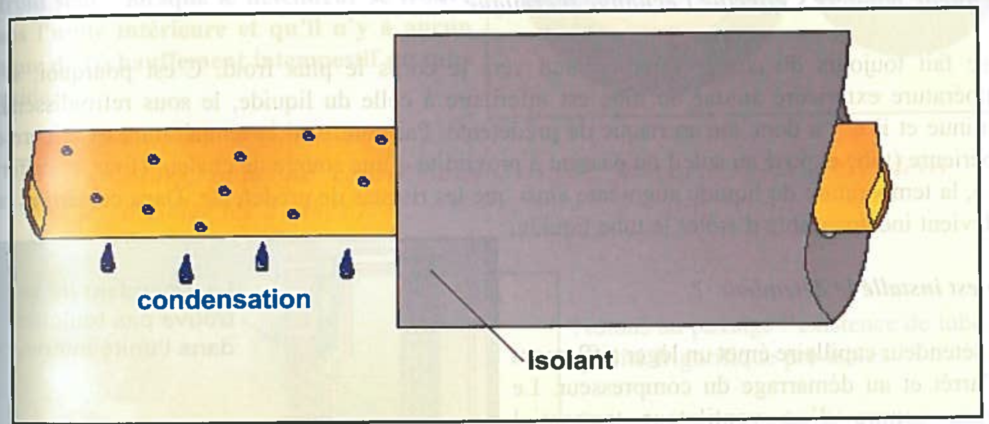
$T_0 = T_{\text{ambiante du local}} - \Delta T_{\text{total}}$ (de 16 à 20°C) $\qquad T_{\text{aspiration}} = T_0$ + surchauffe (de 5 à10°C)

Par exemple, avec une température ambiante dans le local climatisé de 23°C, on obtient environ :

T_0 = 23°C – 18 °C (ΔT_{total} moyen) = 5°C.

$T_{\text{aspiration}}$ = 5°C (T_0) + 7°C (surchauffe moyenne) = environ 12°C.

La température de surface du tube d'aspiration sera donc voisine de 12°C. Cela signifie que la vapeur d'eau contenue dans l'air qui entoure cette tuyauterie va se condenser abondamment.



Pour éviter le phénomène de condensation et tous les problèmes qu'il occasionne, il faut impérativement isoler le tube. Attention, l'isolation doit recouvrir la totalité de la tuyauterie *ainsi que tous les raccordements de l'unité intérieure.* Les manchons d'isolant doivent être collés entre eux pour interdire à l'air de s'infiltrer, ce qui provoquerait quand même de la condensation.

Dans le cas d'un climatiseur réversible (étudié *page 347*), le tube gaz véhicule en hiver les vapeurs très chaudes refoulées par le compresseur. L'objectif étant de chauffer le local, il faut limiter les pertes de chaleur dans la canalisation et il est donc également nécessaire d'isoler le gros tube.

En conclusion, nous n'avons pas à nous poser de questions :

Quel que soit le type de climatiseur (froid seul ou réversible), le tube gaz (c'est-à-dire le plus gros tube) doit toujours être isolé.

Faut-il isoler le tube liquide ?

Le tube liquide (le plus petit diamètre des 2 tubes) amène le liquide sous refroidi du condenseur vers l'évaporateur. Doit il être isolé ? S'il ne l'est pas, il y a deux possibilités : l'échange thermique avec l'air extérieur augmente la température du liquide (si l'air est plus chaud) ou il la diminue (si l'air est plus froid).

Quelle est la température du liquide ?

Le fluide sort du condenseur à l'état liquide sous refroidi, c'est-à-dire que sa température correspond à la température de condensation (T_K) moins la valeur du sous refroidissement (SR). A propos, vous souvenez-vous comment on évalue la température du liquide ?

$T_K = T_{Extérieure} + \Delta T_{total}$ (environ 15°C) $T_{liquide} = T_K$ - SR (environ 5°C)

Par exemple, avec une température extérieure de 30°C, on obtient environ :

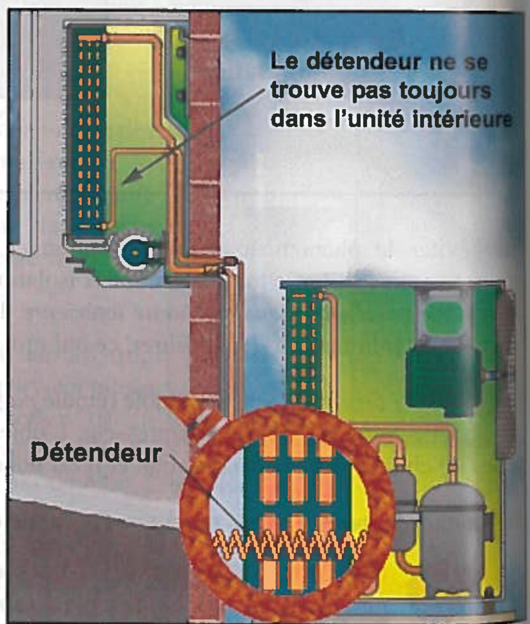
$T_K = 30 + 15$ (ΔT_{total} moyen) = 45°C $T_{liquide} = 45$ (T_K) – 5 (SR moyen) = 40°C.

Nous pouvons en tirer la conclusion qu'en fonctionnement normal le liquide sous refroidi est à une température d'environ une dizaine de degrés au-dessus de la température extérieure.

De quelle manière s'effectue l'échange thermique ?

Il se fait toujours du corps le plus chaud vers le corps le plus froid. C'est pourquoi, si la température extérieure autour du tube est inférieure à celle du liquide, le sous refroidissement continue et il n'y a donc aucun risque de prédétente. Par contre, si la température extérieure est supérieure (tube exposé au soleil ou passant à proximité d'une source de chaleur (four, chaufferie, etc.), la température du liquide augmente ainsi que les risques de prédétente. Dans ce dernier cas, il devient indispensable d'isoler le tube liquide.

Où est installé le détendeur ?



Le détendeur capillaire émet un léger sifflement à l'arrêt et au démarrage du compresseur. Le niveau sonore d'un ventilateur tangentiel n'étant pas suffisamment élevé pour couvrir ce bruit, certains fabricants installent le détendeur dans l'unité extérieure de leurs appareils de petite puissance (souvent utilisés pour des chambres à coucher).

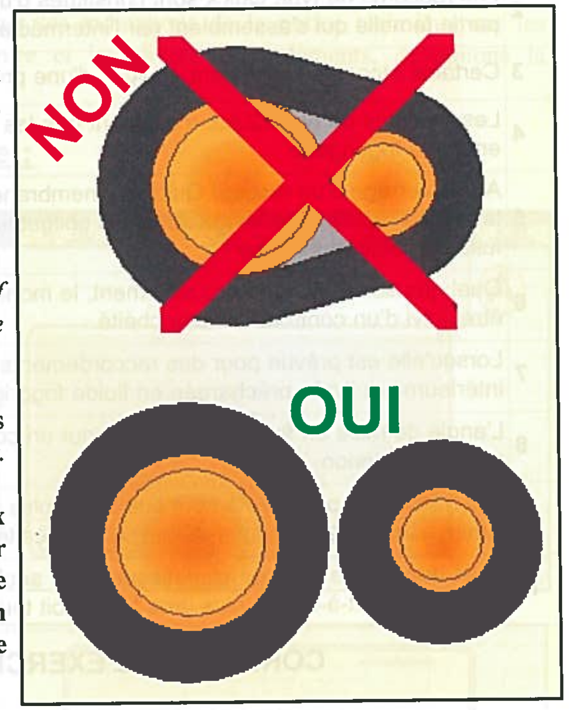
Ce sont alors des vapeurs saturantes à la température d'évaporation (donc très fraîches) qui sortent de l'unité extérieure.

Il faut alors impérativement isoler la petite tuyauterie si nous ne voulons pas que le liquide se vaporise complètement avant son arrivée dans l'unité intérieure !

Les climatiseurs réversibles :

En fonctionnement chauffage, l'échangeur de l'unité extérieure sert d'évaporateur.

Si le détendeur se trouve dans l'unité intérieure, le tube liquide achemine alors des vapeurs saturantes très fraîches et il est préférable de l'isoler afin d'éviter tout phénomène de condensation (les splits réversibles seront étudiés *page 347* et les modèles réversibles avec la technologie Inverter *page 407)*



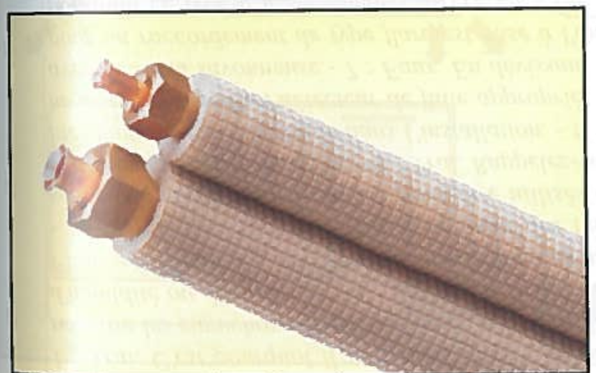
Comment isoler les tubes ?

Pour éviter un échange thermique intempestif entre les deux tuyauteries, il est impératif de les isoler séparément.

Le schéma ci-contre, avec les 2 tubes placés ensembles dans le même isolant, est à prohiber.

En résumé, il faut toujours isoler les deux tuyauteries, sauf dans le cas d'un climatiseur « froid seul » lorsque le détendeur se trouve dans l'unité intérieure et qu'il n'y a aucun risque de réchauffement intempestif du tube liquide.

Alors, pour ne courir aucun risque, prévoyez dans votre devis d'isoler les 2 tubes !



Notons au passage l'existence de tubes de qualité frigorifique pré-isolés.

Ces tubes sont particulièrement pratiques pour effectuer des raccordements de type Flare.

A présent, intéressons-nous de plus près à l'installation du climatiseur...

Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°16: Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX
1	L'intérieur des tubes de qualité frigorifique est poli et déshydraté par le fabricant		
2	Les raccords de type Quick sont constitués d'une partie mâle et d'une partie femelle qui s'assemblent par l'intermédiaire d'un dudgeon		
3	Certains raccords Quick sont équipés d'une prise de pression		
4	Les raccords de type Quick n'équipent que les tuyauteries préchargées en fluide frigorigène		
5	Après serrage d'un raccord Quick, la membrane est déchirée. Par la suite, si on dévisse le raccord, il y a obligatoirement une grosse fuite de fluide frigorigène		
6	Quel que soit le type de raccordement, le montage doit obligatoirement être suivi d'un contrôle de l'étanchéité		
7	Lorsqu'elle est prévue pour des raccordements de type Flare, l'unité intérieure est livrée préchargée en fluide frigorigène		
8	L'angle de mise en forme est de 45° pour un collet battu mais de 90° pour un dudgeon		
9	Les risques de prédétente sont beaucoup plus importants lorsque l'unité extérieure est située au-dessus de l'unité intérieure		
10	Quel que soit le type de climatiseur (froid seul ou réversible), le tube gaz (c'est-à-dire le plus gros tube) doit toujours être isolé		

CORRIGÉ DE L'EXERCICE — VRAI — FAUX

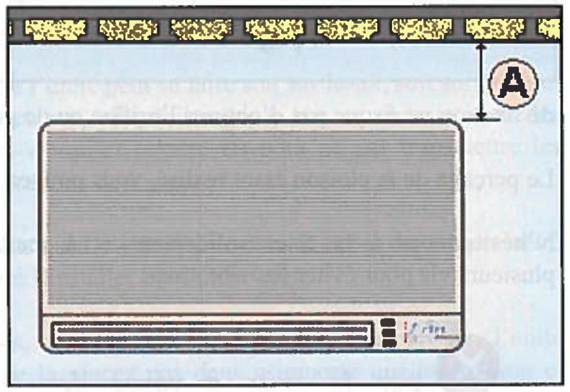
1 : Vrai. C'est pourquoi il ne jamais laisser un tube à l'air libre trop longtemps. Pensez à remettre les capuchons de protection ou à écraser les extrémités afin d'interdire l'introduction d'humidité ou d'impuretés. - 2 : Faux. Un dudgeon n'est utilisé que sur les raccords de type Flare. - 3 : Vrai. Il y en a généralement au moins une sur le raccord gaz de l'unité extérieure. - 4 : Vrai. Les raccords Quick équipent des tubes préchargés en fluide frigorigène. Ils sont donc spécialement conçus pour être utilisés avec des unités intérieures et extérieures également déjà préchargées. - 5 : Vrai. Rappelez-vous bien que ces raccords sont indémontables tant qu'il y a du fluide dans l'installation. - 6 : Vrai. Quelle qu'en soit la raison, si vous ne disposez pas d'un détecteur de fuite approprié, vous pouvez toujours réaliser ce contrôle avec de l'eau savonneuse.- 7 : Faux. En dévissant ses bouchons, une unité intérieure prévue pour un raccordement de type flare est mise à l'air libre et tout le contenu est perdu. C'est pourquoi ce type d'unité est préchargée en azote. - 8 : Faux. C'est l'inverse, 90° pour le collet battu mais 45° pour le dudgeon. - 9 : Vrai. C'est pourquoi, lorsque l'unité intérieure est située au-dessus de l'unité extérieure, il ne faut surtout pas dépasser le dénivelé maximum prévu par le constructeur, sous peine de créer une prédétente. - 10 : Vrai. La tendance actuelle est du reste d'utiliser 2 tubes pré-isolés pour effectuer les raccordements.

L'INSTALLATION DU SPLIT-SYSTÈME

Maintenant que vous comprenez un peu mieux les indications de la notice technique sur les puissances, l'unité intérieure, l'unité extérieure et les divers raccordements, examinons la procédure d'installation de notre split.

L'installation de l'unité intérieure :

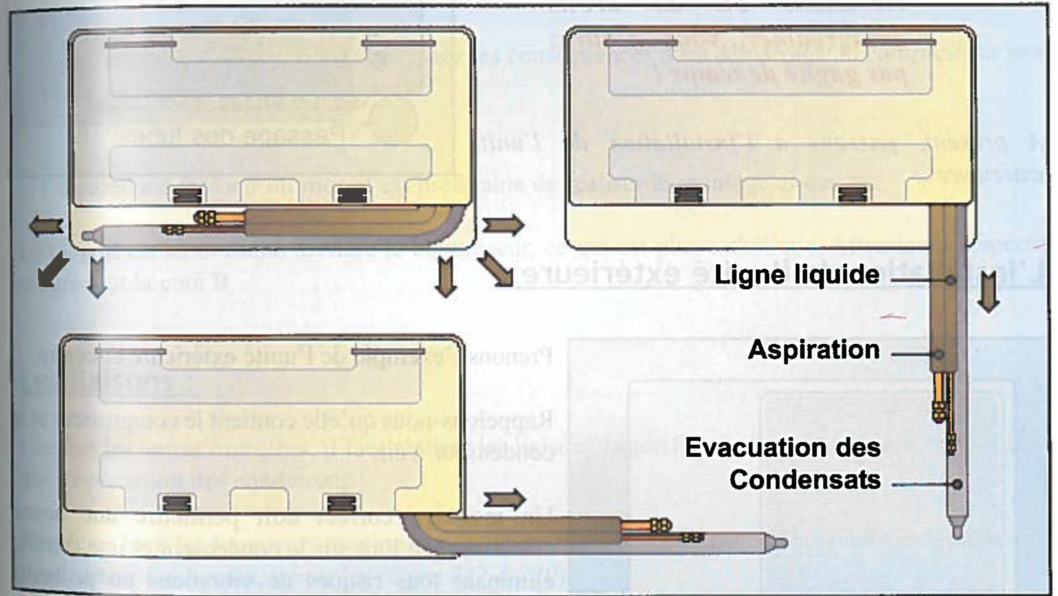
Nous prendrons l'exemple de l'unité murale ci-contre.



Après avoir choisi son emplacement, il faut la fixer suffisamment haut pour assurer une bonne diffusion de l'air dans le local.

Attention à respecter la cote minimum (A) imposée par le fabricant.

Ensuite il faut choisir de quel côté vous ferez sortir les tuyauteries :

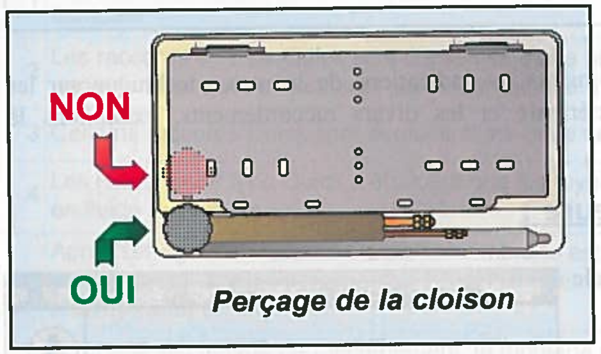


Vous avez six possibilités : deux vers les cotés, deux vers le bas et deux vers l'arrière.

Le choix final doit permettre aux raccords d'être obligatoirement situés *à l'extérieur* de la cloison.

En cas de fuite sur l'un des raccords, il est en effet indispensable qu'il soit facilement accessible.

Les tuyauteries sont suffisamment malléables pour être cintrées *très délicatement* à la main. Attention tout de même à ne pas aplatir ou écraser les tubes.



Perçage de la cloison

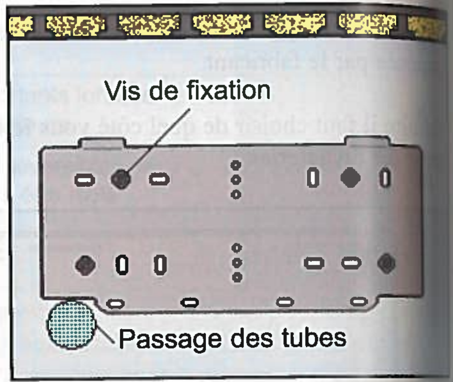
A l'arrière de l'unité intérieure se trouve la plaque de fixation murale.

Si vous avez choisi une sortie par l'arrière, avant de percer l'orifice de passage des tubes dans la cloison :

- Assurez-vous bien que le trou sera caché par le climatiseur (on ne devra pas l'apercevoir lorsque le climatiseur sera fixé contre le mur).
- Soyez absolument certain que la plaque de fixation ne risque pas d'obturer l'orifice ou de gêner le passage des tubes.

Le perçage de la cloison étant réalisé, vous pouvez poser la plaque de fixation murale.

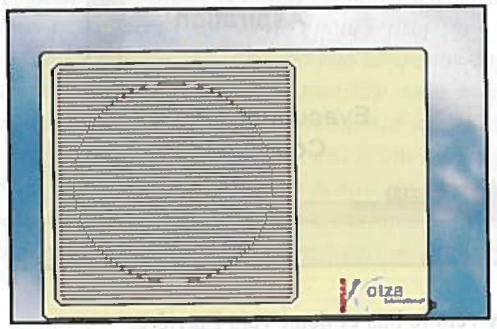
N'hésitez pas à la fixer solidement et à mettre plusieurs vis pour éviter les vibrations.



Si vous devez tout démonter par la suite à cause de vibrations ou de bruits désagréables, vous n'aurez pas gagné de temps !

A présent, passons à l'installation de l'unité extérieure...

L'installation de l'unité extérieure :



Prenons l'exemple de l'unité extérieure ci-contre.

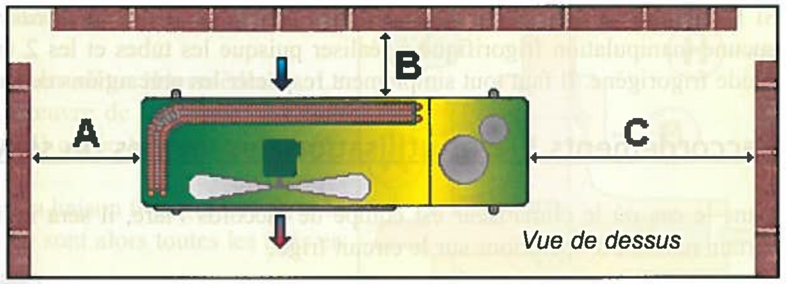
Rappelons-nous qu'elle contient le compresseur et le condenseur à air.

Un montage correct doit permettre une bonne circulation de l'air sur le condenseur et une fixation éliminant tous risques de vibrations ou de bruits intempestifs.

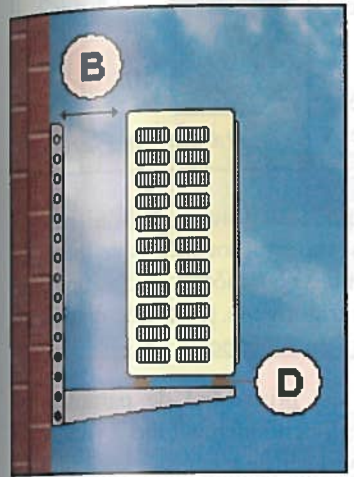
Pour permettre une bonne circulation de l'air sur le condenseur, ce qui est primordial pour permettre un fonctionnement correct, les constructeurs imposent des cotes minimales à respecter.

Les distances **A** et **B** garantissent une circulation d'air suffisante.

Le respect de la cote **C** permettra d'intervenir sur l'appareil pour les opérations courantes de maintenance.



Si vous ne respectez pas ces cotes, c'est vous qui risquez d'en subir les conséquences !



La fixation de l'unité peut se faire soit sur le sol, soit sur un mur. Dans les deux cas, elle doit reposer sur un châssis avec des supports anti-vibratiles (repère **D**) pour ne pas transmettre les multiples vibrations de l'appareil.

Rappelez-vous qu'il y a de l'huile dans le carter du compresseur, alors veillez à l'installer bien de niveau.

A ce propos, lors du stockage ou du transport de l'unité extérieure, ne la placez pas dans n'importe quelle position et pensez à l'huile qui doit toujours rester dans le fond du carter.

Imaginez les conséquences d'un démarrage du compresseur sans huile !

Si l'appareil est fixé sur un mur, il est préférable de réaliser le montage ci-dessus.

Le support est alors caché derrière le climatiseur, ce qui est plus esthétique. Attention à respecter malgré tout la cote **B**.

Les liaisons :

Une fois les unités installées, il faut réaliser les liaisons frigorifiques, les câblages électriques ainsi que l'évacuation des condensats.

Respectez bien les longueurs maximums de tubes et ne dépassez pas les dénivelés indiqués par le constructeur (au besoin, revoir les *pages 217 à 220*).

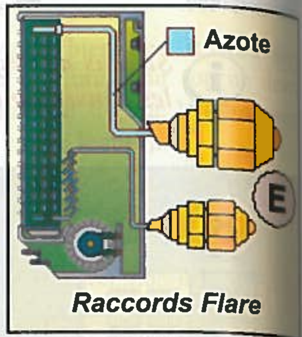
Il est préférable d'installer le support des liaisons (goulotte, chemin de câble, etc.) et de s'occuper des tuyauteries frigorifiques *en priorité*.

De cette façon, s'il est nécessaire d'effectuer un tirage au vide des tuyauteries (c'est le cas si les unités possèdent des raccordements Flare), il se fera pendant que vous câblerez et que vous raccorderez les condensats. Vous perdrez moins de temps et le tirage au vide sera mieux fait.

Si le climatiseur est équipé de tuyauteries préchargées avec raccords rapides (Quick), il n'y a aucune manipulation frigorifique à réaliser puisque les tubes et les 2 unités sont préchargées en fluide frigorigène. Il faut tout simplement respecter les précautions de montage décrites *page 211*.

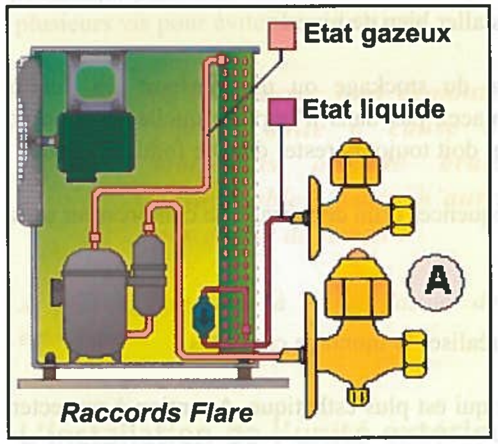
Raccordements Flare, utilisation des vannes de service :

Dans le cas où le climatiseur est équipé de raccords Flare, il sera indispensable d'effectuer un certain nombre d'opérations sur le circuit frigo.



Rappelez-vous que dans ce cas l'unité intérieure contient de l'azote (voir *page 216*) et que ses 2 tubes sont brasés en usine sur les 2 raccords (repère **E**). Lorsque vous démonterez les bouchons qui obstruent ces raccords, l'azote s'échappera à l'atmosphère et de l'air pourra pénétrer dans le circuit. Il est donc préférable de réaliser ces 2 raccordements au dernier moment.

Quant à l'unité extérieure, elle est préchargée en fluide frigorigène et elle est raccordée en usine sur deux vannes de service (repère **A** ci-dessous).

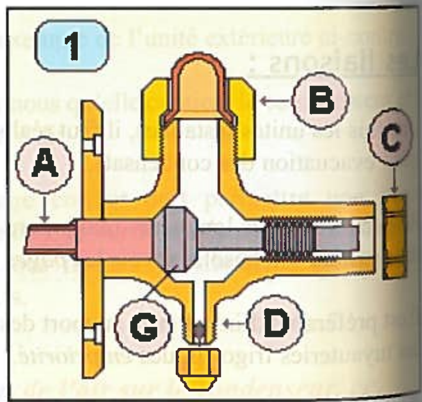


Par gravité, le liquide se trouve dans le bas du condenseur et les vapeurs sont dans le haut de l'appareil. Cette unité se comporte donc comme une bouteille de fluide frigorigène. Le fluide ne doit en aucun cas pouvoir s'en échapper.

C'est pourquoi il est primordial de parfaitement bien comprendre le fonctionnement des 2 vannes de service avant d'envisager de raccorder les 2 unités.

La vanne d'aspiration possède toujours une prise de pression (repère **D** ci-dessous) mais ce n'est pas toujours le cas de la vanne liquide.

En position 1 :



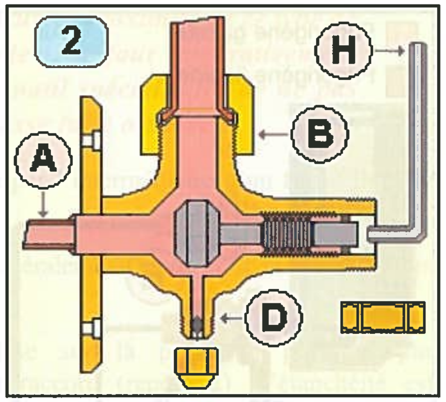
On dit que la vanne est en siège avant. Le clapet (repère **G**) ferme le raccordement sur **A**, ce qui isole complètement l'unité intérieure.

Par contre, la liaison frigo (repère **B**) et la prise de pression (repère **D**) sont en communication.

La manœuvre de chaque vanne s'effectue par une tige dont l'étanchéité est assurée par un presse étoupe et renforcée par un bouchon (repère **C**) qu'il faut toujours remettre en place.

La vanne est en siège avant (généralement, on préfère dire qu'elle est fermée) à la livraison du climatiseur.

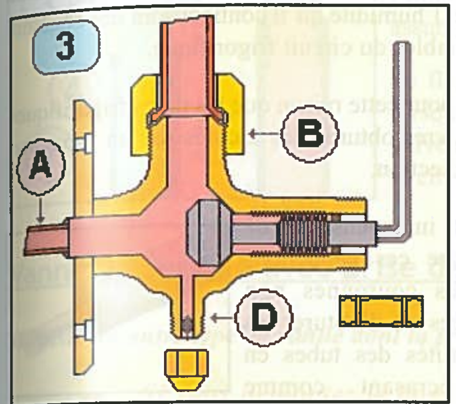
En position 2 :



On dit que la vanne est en siège intermédiaire. Le clapet de la vanne se manœuvre de l'extérieur à l'aide d'une clé six pans (repère **H**) généralement non fournie.

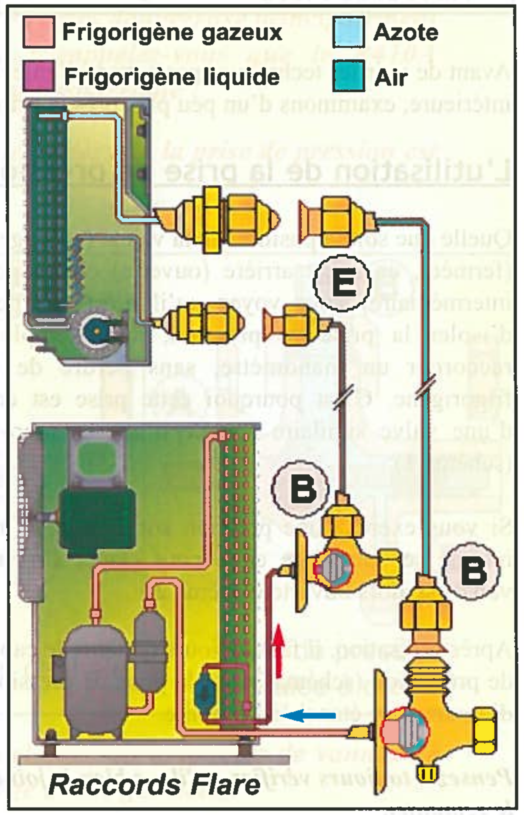
L'unité intérieure (côté **A**), la liaison frigo (repère **B**) et la prise de pression (repère **D**) sont alors toutes les trois en communication.

En position 3 :



On dit que la vanne est en siège arrière (ouverte à fond). Les trois cotés (**A**, **B** et **D**) sont alors mis en communication franche. Le diamètre du passage entre **A** et **B** est alors maximum et la perte de charge est donc minimum. **C'est dans cette position que les vannes doivent se trouver en fonctionnement normal.**

Une vanne simplement entrouverte opposerait une résistance trop importante au passage du fluide et occasionnerait donc une panne !



Les 2 vannes de service **B** étant bien en 'siège avant' (c'est-à-dire dans *la position 1* décrite page précédente), vous pouvez envisager de raccorder l'unité intérieure à l'unité extérieure.

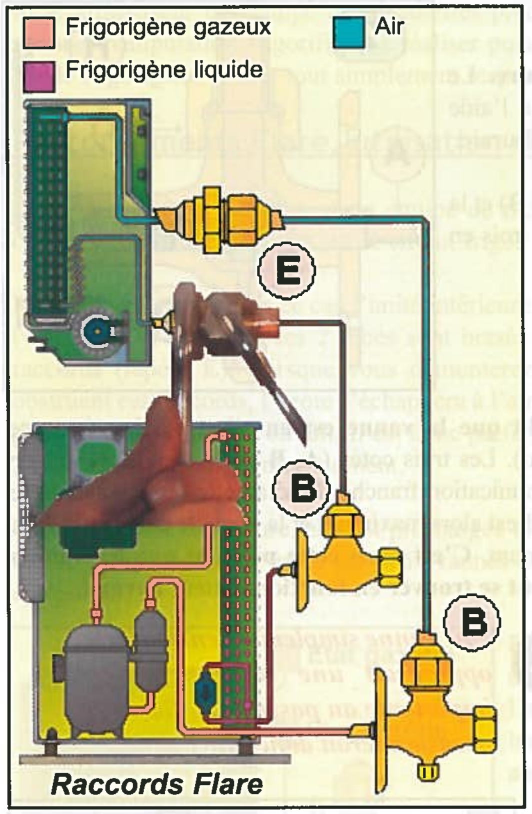
Vous devez donc effectuer les liaisons avec du tube frigorifique entre les raccords **B** et **E** en respectant bien les diamètres prescrits par le constructeur.

Pour rappel, le tube de plus petit diamètre acheminera le liquide vers le détendeur tandis que le gros tube ramènera les gaz qui sortent de l'évaporateur vers l'aspiration du compresseur.

Les tubes étant en place (bien sûr, en même temps que les tubes vous passerez l'écoulement des condensats et les câbles de liaison électrique), vous devrez effectuer les 4 dudgeons.

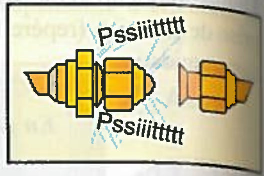
Commencez par l'unité extérieure (repère **B**) : les vannes étant en siège avant (fermées), il n'y a pas de risque de fausse manœuvre...

Bases du Froid



Finissez par les 2 dudgeons de l'unité intérieure repère **E** (il est recommandé d'avoir un jeu écrous d'avance afin de démonter les bouchons de l'unité extérieure au dernier moment).

En effet, quand vous dévisserez ces bouchons, l'azote s'échappera à l'atmosphère et de l'air pourra pénétrer dans le circuit.



Or, rappelez-vous que l'air et l'humidité qu'il contient sont des ennemis redoutables du circuit frigorifique.

C'est pour cette raison que les tubes frigorifiques sont livrés obturés des 2 cotés par un capuchon de protection.

Il est indispensable de remettre ces capuchons sur les couronnes non utilisées ou d'obturer les extrémités des tubes en les écrasant comme représenté ci-dessus.



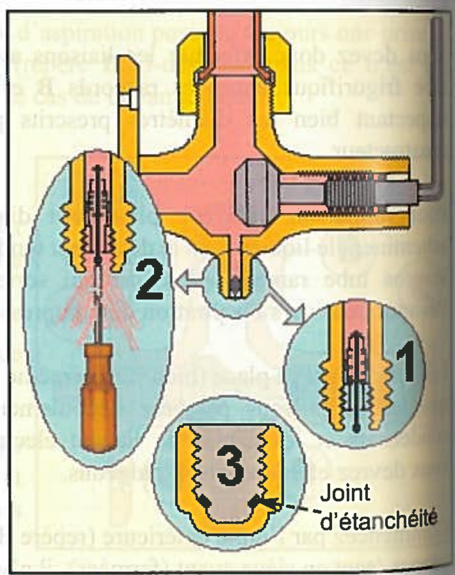
Avant de voir les techniques permettant d'enlever l'air prisonnier des tubes de liaison et de l'unité intérieure, examinons d'un peu plus près la prise de pression.

L'utilisation de la prise de pression :

Quelle que soit la position de la vanne (en siège avant (fermée), en siège arrière (ouverte) ou en position intermédiaire) vous voyez qu'il n'est pas possible d'isoler la prise de pression, par exemple pour raccorder un manomètre, sans perdre de fluide frigorigène. C'est pourquoi cette prise est équipée d'une valve similaire à celle d'une chambre à air (schéma **1**).

Si vous exercez une pression sur la tige, le ressort interne se comprime et le petit clapet s'ouvre. La valve est alors ouverte (schéma **2**).

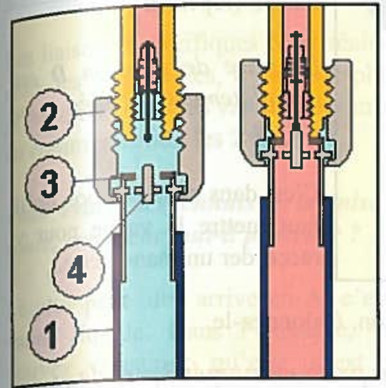
Après utilisation, il faut toujours remettre le capuchon de protection (schéma **3**) sur la prise de pression afin d'assurer une étanchéité parfaite.



Pensez à toujours vérifier qu'il y a bien le joint d'étanchéité dans le fond du capuchon avant de le remonter.

Notez que si vous devez réaliser une brasure à proximité de ce type de prise de pression (appelé prise schrader), il faut impérativement démonter auparavant la valve avec un outil spécial, afin de ne pas brûler le joint interne, sinon c'est la grosse fuite assurée !

La prise de pression permet de raccorder un manomètre par l'intermédiaire d'un tuyau flexible spécial (repère **1**).



Ces flexibles sont généralement bleus pour la BP et rouges pour la HP.

Le flexible se visse sur la prise de pression par l'intermédiaire d'un raccord (repère **2**). L'étanchéité est assurée par un joint (repère **3**).

Le flexible est pourvu d'un percuteur (repère **4**) permettant, lorsqu'il sera complètement serré, d'appuyer sur la tige de la valve et donc de mettre le manomètre en communication avec le circuit frigorifique.

Vanne de service avec prise de pression sans valve :

Il existe un autre type de vanne dont la prise manométrique n'est pas équipée d'une valve.

Si vous démontez le bouchon (en pensant qu'il y a une valve) il se produit une grosse fuite qui peut être très dangereuse principalement sur une vanne départ liquide : rappelez-vous que le R410A s'évapore à -52°C à la pression atmosphérique !

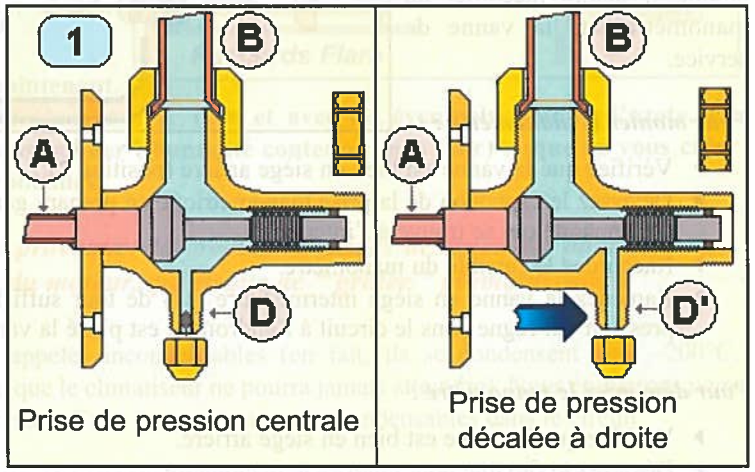
Par rapport à la vanne précédente, notez que la prise de pression est alors très décalée vers la droite.

En position 1 :

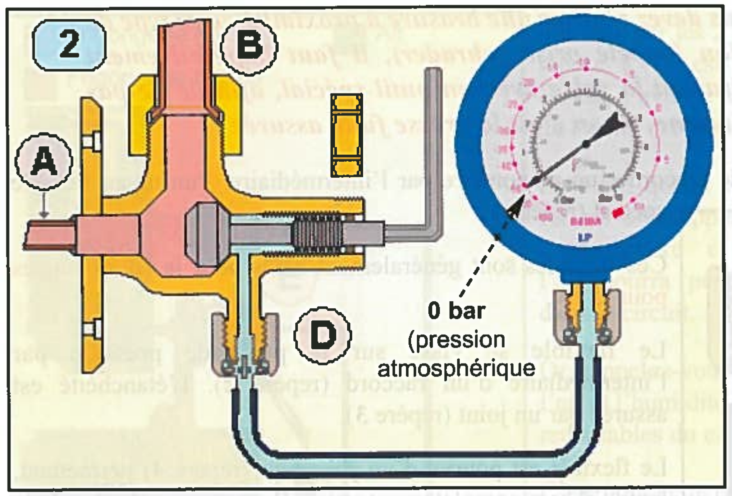
les 2 modèles de vanne sont en siège avant.

Leur clapet isole l'unité extérieure (côté **A**).

la liaison frigorifique (repère **B**) et la prise de pression (repère **D** avec valve et repère **D'** sans valve) sont alors en communication.



A la livraison du climatiseur, quel que soit le modèle de vannes de service, elles sont toujours en siège avant (fermées).



En position 2 :

La vanne est en siège arrière. L'unité extérieure (côté A) est alors en communication franche avec la tuyauterie de liaison (repère **B**).

La prise de pression **D** *est complètement isolée du circuit.*

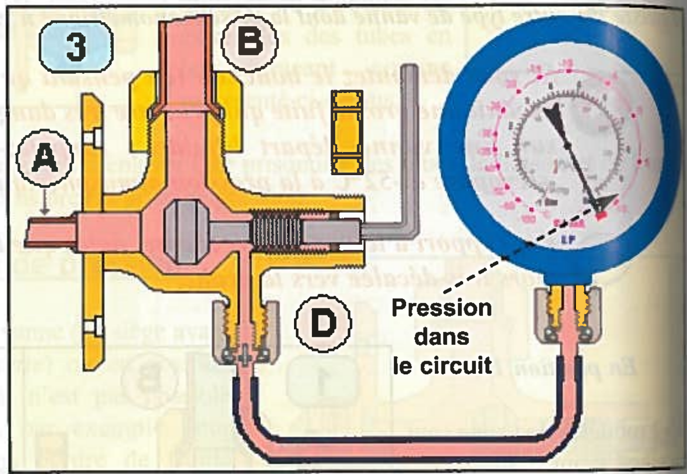
C'est dans cette position qu'il faut mettre la vanne pour y raccorder un manomètre.

Si le manomètre est bien étalonné, il doit alors indiquer 0. Sinon, étalonnez-le.

Attention, si vous enlevez le capuchon de la prise manométrique de ce type de vanne alors qu'elle n'est pas en siège arrière, le fluide frigorigène s'échappe à l'atmosphère.

En position 3 :

la vanne est en siège intermédiaire. L'unité extérieure (côté **A**), la liaison frigorifique (repère **B**) et la prise de pression **D** sont alors en communication.



Pour lire la pression dans le circuit, il faudra raccorder un manomètre sur la vanne de service.

Pour monter le manomètre :

- Vérifiez que la vanne est bien en siège arrière (position 2)
- Dévissez le capuchon de la prise manométrique en prenant garde de ne pas perdre le joint d'étanchéité qui se trouve à l'intérieur.
- Raccordez le flexible du manomètre.
- Ramenez la vanne en siège intermédiaire (1/4 de tour suffit). Pour pourrez ainsi lire la pression qui règne dans le circuit à l'endroit où est placé la vanne.

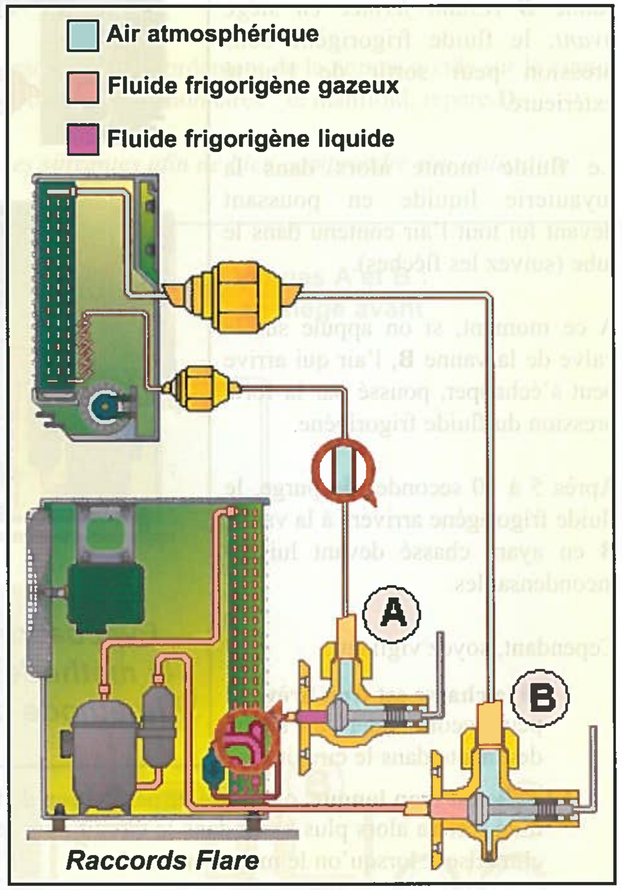
Pour démonter le manomètre :

- Vérifiez que la vanne est bien en siège arrière.
- Dévissez le flexible pour enlevez le manomètre.
- Remettez le capuchon avec son joint sur la prise de pression.
- Vérifier l'étanchéité du raccord.

Plus tard, si vous devez intervenir sur la vanne de service d'un appareil déjà en fonctionnement et que vous ignorez si la prise manométrique est équipée d'une valve, prenez toujours la précaution de vérifier auparavant que la vanne est bien en siège arrière.

Les manipulations frigorifiques :

Les liaisons frigorifiques étant réalisées entre les deux unités, il ne reste plus *à priori* qu'à ouvrir les vannes pour mettre en communication les 2 unités.



Pour éviter des ennuis à la mise en route, comment faut-il procéder ?

Le plus petit tube arrive en **A**, c'est la vanne liquide. Dans l'exemple, vous pouvez constater qu'elle n'est pas équipée d'une prise de pression.

Le gros tube arrive en **B**, c'est donc la vanne gaz qui est ici équipée d'un prise de pression avec valve (rappelez-vous que s'il n'y avait pas de valve, la prise serait très décalée vers la droite).

Comme nous l'avons vu *page 216*, l'unité intérieure est livrée chargée avec de l'azote (qui s'est échappé au moment du raccordement) et l'unité extérieure est livrée préchargée en frigorigène.

En ce qui concerne les tubes de liaison que vous venez de raccorder, ils sont remplis d'air atmosphérique.

Si vous ouvrez les vannes maintenant, le fluide frigorigène va se mélanger avec l'air et avec les éventuels résidus d'azote. Ce mélange d'air et d'azote (sans oublier l'humidité contenue dans l'air) risque de vous créer très rapidement des gros problèmes.

L'humidité va provoquer la création d'acides destructeurs pour les enroulements du moteur, qui risque de " griller " prématurément.

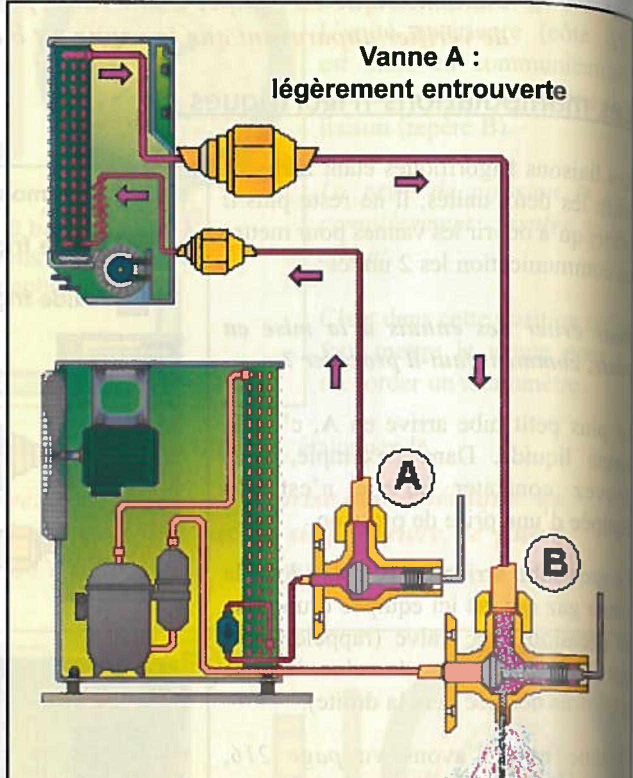
L'air et l'azote sont 2 gaz appelés incondensables (en fait, ils se condensent vers –200°C, c'est-à-dire à une température que le climatiseur ne pourra jamais atteindre). Nous étudierons *page 291* les conséquences désastreuses d'une forte présence d'incondensables dans le circuit.

En conclusion, il faut impérativement enlever l'air et l'azote du circuit AVANT d'ouvrir les vannes de l'unité extérieure !

La purge de l'air par la méthode de la chasse :

Pour chasser l'air et l'azote, certains installateurs utilisent la méthode suivante :

En ouvrant légèrement (de 1/4 à 1/2 tour) la vanne liquide (repère **A**), *la vanne **B** restant fermée en siège avant*, le fluide frigorigène sous pression peut sortir de l'unité extérieure.



Evacuation de l'air par la méthode de la chasse (méthode déconseillée)

Le fluide monte alors dans la tuyauterie liquide en poussant devant lui tout l'air contenu dans le tube (suivez les flèches).

A ce moment, si on appuie sur la valve de la vanne **B**, l'air qui arrive peut s'échapper, poussé par la forte pression du fluide frigorigène.

Après 5 à 10 secondes de purge, le fluide frigorigène arrivera à la vanne **B** en ayant chassé devant lui les incondensables.

Cependant, soyez vigilant :

- **Si la chasse est trop brève,** il peut encore rester de l'air ou de l'azote dans le circuit.
- **Si elle est trop longue,** on risque de perdre trop de fluide frigorigène dans l'atmosphère et il n'en restera alors plus assez dans le circuit pour assurer un fonctionnement satisfaisant du climatiseur lorsqu'on le mettra en service.

Dans le premier cas, on risque la panne des incondensables (qui sera étudiée *page 320*) et dans le second cas, on risque la panne du manque de charge en fluide frigorigène, (qui sera étudiée *page 284*).

Attention, selon les pays, les manipulations frigorifiques sont réglementées (voir *page 413*). Aussi, même si cette méthode peut rendre service en dernier recours, elle reste fortement déconseillée.

La chasse des incondensables en utilisant cette méthode n'est pas une manipulation agréée respective de l'environnement.

Nous allons donc examiner maintenant comment doit procéder un professionnel agréé...

L'évacuation de l'air par la technique du tirage au vide :

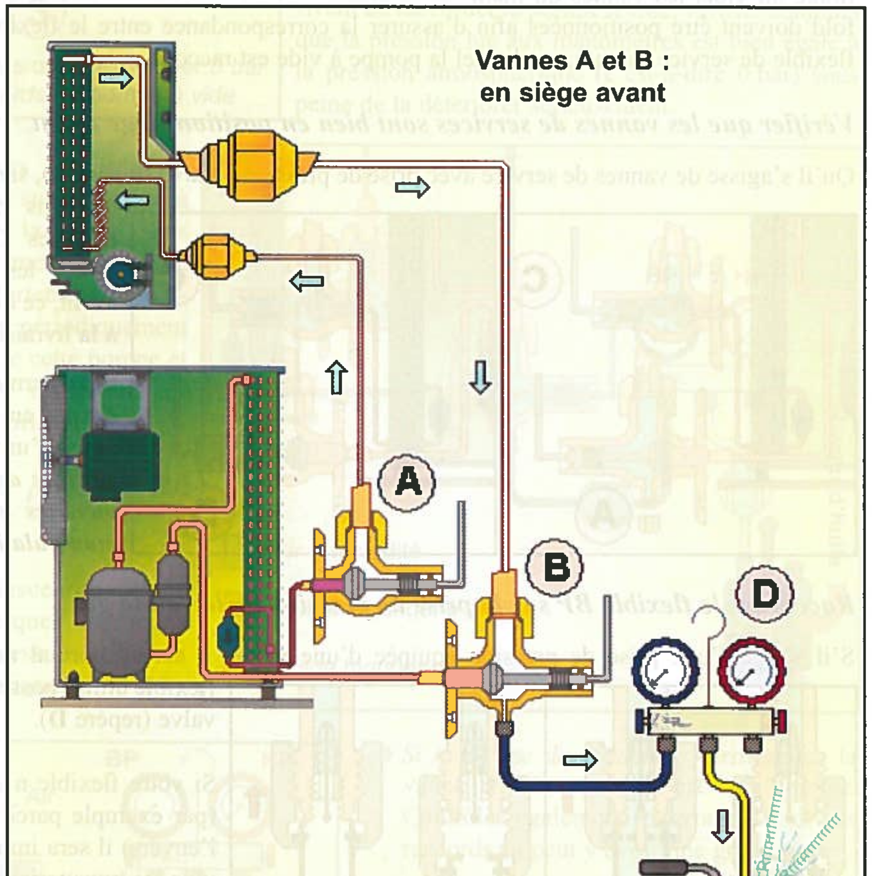
Faire un tirage au vide, c'est tout simplement aspirer l'air et l'azote contenus dans les tuyauteries et dans l'unité intérieure en utilisant une pompe à vide.

Les 2 vannes de service étant fermées sur l'avant (c'est leur position à la livraison de l'appareil), l'unité extérieure (qui contient le fluide frigorigène) est parfaitement isolée.

Le montage à réaliser est représenté ci-dessous. Le raccordement de la pompe à vide sur le circuit se fait par l'intermédiaire de flexibles et d'un jeu de manomètres : le manifold, repère **D**.

Nous étudierons le manifold dans les pages suivantes afin de bien comprendre son utilisation.

La pompe étant alors mise en service, elle aspire tout l'air depuis la vanne liquide (repère **A**), en suivant le sens des flèches.



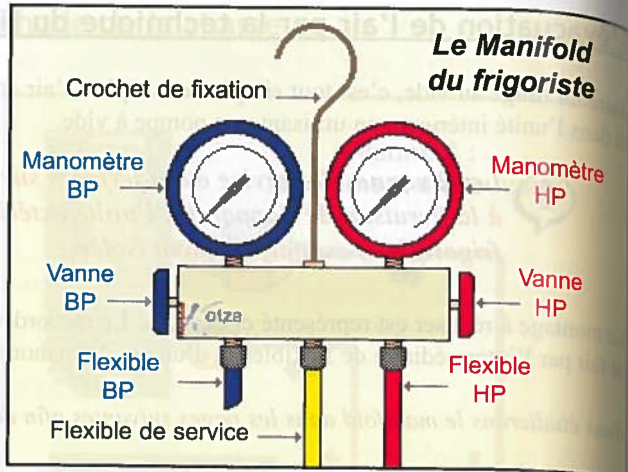
Evacuation de l'air par la méthode du tirage au vide

Notez que la pression dans le circuit chute alors très nettement en dessous de la pression atmosphérique, comme l'indique le manomètre BP (en bleu).

Cette chute de pression favorise grandement l'évaporation de toute trace d'eau à l'état liquide qui pourrait accidentellement se trouver dans les tuyauteries ou dans l'unité intérieure (rappelez-vous de la relation pression température de l'eau étudiée *page 40*). A présent, nous allons voir comment procéder pour réaliser ce tirage au vide...

Il existe de nombreux modèles de paire de manomètre (appelée aussi le bipasse ou le manifold), certains sont équipés de plusieurs vannes de service, parfois d'un voyant liquide, etc.).

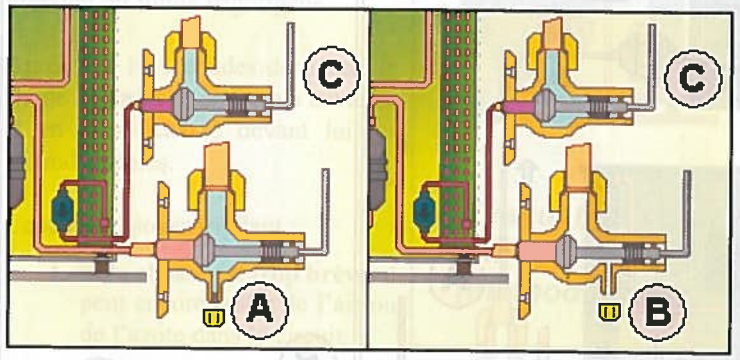
Nous avons représenté ci-contre le modèle de base. Rappelez-vous que les 2 manomètres doivent indiquer 0 lorsqu'ils sont à l'air libre.



Le schéma de la page précédente nous indique que pour réaliser le tirage au vide, les vannes du manifold doivent être positionnées afin d'assurer la correspondance entre le flexible BP (bleu) et le flexible de service (jaune), sur lequel la pompe à vide est raccordée.

Vérifier que les vannes de services sont bien en position siège avant.

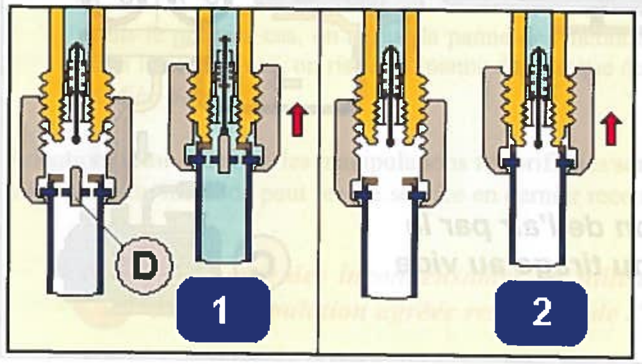
Qu'il s'agisse de vannes de service avec prise de pression à valve (repère A), sans valve (repère B) ou sans prise de pression (repères C), elles doivent toutes les 2 être en siège avant, ce qui est leur position à la livraison du climatiseur.



Cela permet de conserver la charge en fluide frigorigène dans l'unité extérieure et ***elles ne devront jamais être ouvertes avant la fin de la manipulation.***

Raccorder le flexible BP sur la prise de pression de la vanne gaz.

S'il s'agit d'une prise de pression équipée d'une valve, il est primordial de s'assurer que le flexible utilisé possède un percuteur de valve (repère **D**).

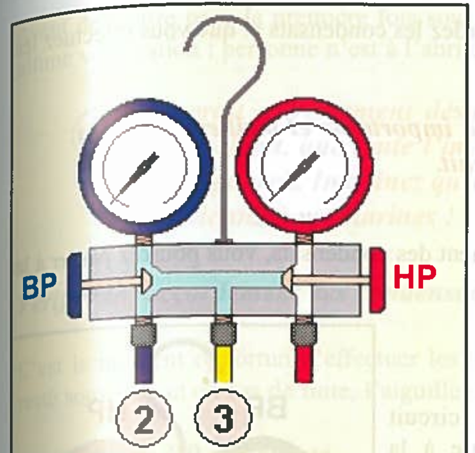


Si votre flexible n'a pas de percuteur (par exemple parce qu'il est monté à l'envers) il sera impossible de tirer au vide les tuyauteries.

En effet, seul le percuteur permettra de mettre le manifold en communication avec le circuit (schéma **1**).

Sans percuteur, la valve restera fermée (schéma 2), vous ne tirerez au vide que le flexible et tout l'air restera prisonnier de l'installation !

Fermer la vanne HP et ouvrir la vanne BP du manifold.



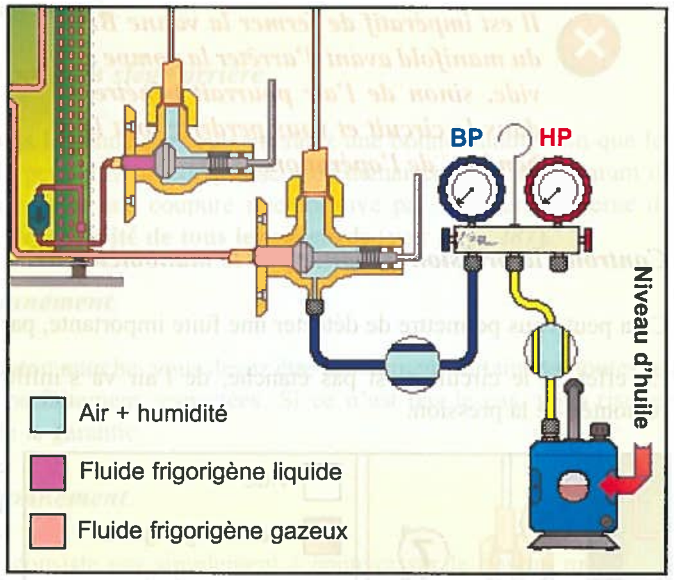
Les 2 manomètres doivent indiquer 0 bar avant de raccorder la pompe à vide

Les vannes du manifold permettent la liaison entre les flexibles HP / BP et le flexible de service. Dans la position ci-contre, la vanne BP est ouverte et il y a communication entre le flexible BP (repère **2**) et celui de service (repère **3**). La vanne HP est fermée. Remarquez que les manomètres indiqueront toujours la pression régnant dans leur flexible respectif quelle que soit la position des vannes du manifold.

Raccorder le flexible de service sur la pompe à vide.

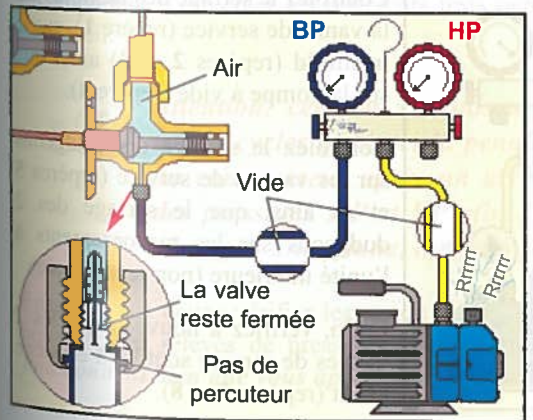
Avant de raccorder la pompe à vide, vérifiez toujours que la pression lue aux manomètres est bien égale à la pression atmosphérique (c'est-à-dire 0 bar) sous peine de la détériorer sérieusement.

Vous pouvez alors raccorder le flexible de service sur la pompe à vide (serrage à la main sans exagération) et la mettre en route. Notez qu'il est fortement recommandé de vérifier périodiquement le niveau d'huile de cette pompe et de l'entretenir en respectant les prescriptions du fabricant.



Vérifier que la pression BP diminue.

La BP doit descendre assez rapidement (quelques secondes suffisent) en dessous de la pression atmosphérique.



- *Si la BP ne descend pas*, vérifiez que la vanne HP du manifold est bien fermée. Contrôlez également le serrage des divers raccords (il peut y avoir une grosse fuite).
- *Si la BP descend vraiment très rapidement*, vérifiez que la vanne BP du manifold est bien ouverte et qu'il y a bien un percuteur sur le flexible du côté raccordé sur la vanne de service, sinon vous n'aspirez rien dans l'installation (voir schéma ci-contre) !

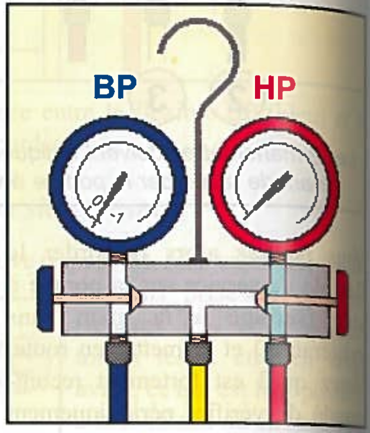
Laisser tirer au vide pendant que vous terminez les autres raccordements.

Laissez la pompe fonctionner pendant que vous raccordez les condensats et que vous effectuez les câblages électriques.

Plus la durée du tirage au vide sera importante et meilleure sera la qualité de la déshydratation du circuit.

Lorsque vous avez terminé le câblage et le raccordement des condensats, vous pourrez passer à la seconde phase.

Fermer la vanne BP du manifold.



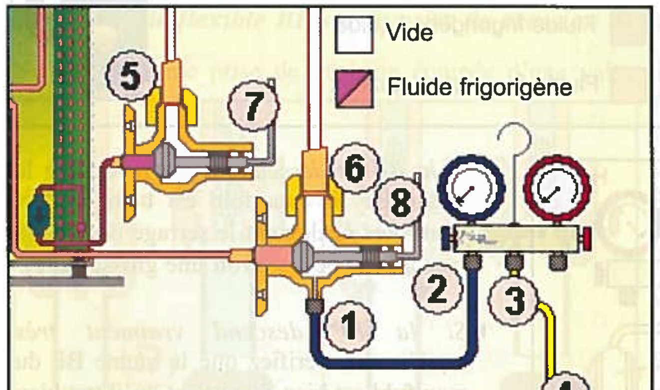
Cela est impératif afin d'isoler l'intérieur du circuit frigorifique (qui est alors à une pression inférieure à la pression atmosphérique) de la pompe à vide. Ensuite seulement, vous pourrez arrêter la pompe sans aucun danger.

Il est impératif de fermer la vanne BP du manifold avant d'arrêter la pompe à vide, sinon de l'air pourrait pénétrer dans le circuit et vous perdriez tout le bénéfice de l'opération.

Contrôler la pression indiquée par le manomètre BP.

Cela peut vous permettre de détecter une fuite importante, par exemple un raccord mal serré.

En effet, si le circuit n'est pas étanche, de l'air va s'infiltrer à l'intérieur en provoquant une remontée de la pression.



La charge en fluide frigorigène est confinée dans l'unité extérieure. L'unité intérieure ainsi que les 2 tubes de liaison sont sous vide. Ils ne contiennent donc plus d'air.

Si la pression remonte rapidement, assurez-vous que les 2 vannes BP et HP du manifold sont bien fermées.

Contrôlez le serrage des flexibles sur la vanne de service (repère **1**), sur le manifold (repères **2** et **3**) ainsi que sur la pompe à vide (repère **4**).

Contrôlez le serrage des dudgeons sur les vannes de service (repères **5** et **6**) ainsi que le serrage des dudgeons sur les raccordements à l'unité intérieure (non représentée).

Enfin, vérifiez à nouveau que les 2 vannes de service sont bien en siège avant (repères **7** et **8**).

Vérifier le raccordement électrique.

Avant de mettre pour la première fois sous tension un appareil, il est préférable d'effectuer une ultime vérification : personne n'est à l'abri d'une faute d'inattention.

Il serait extrêmement désagréable, aussi bien pour vous que pour votre client, que toute l'installation disjoncte à la mise sous tension de l'appareil. Imaginez qu'en plus une odeur caractéristique de brûlé parvienne à vos narines !

Vérifier le raccordement des condensats.

C'est le moment opportun d'effectuer les ultimes vérifications. Pendant ce temps, le circuit est resté sous vide et en cas de fuite, l'aiguille du mano BP a effectué une lente remontée vers 0 bar.

Vérifier si la BP a remonté.

Si c'est le cas, *malheureusement pour vous*, il sera indispensable de localiser la fuite, de la réparer puis de recommencer le tirage au vide.

Mettre les vannes de service en position siège arrière.

Ouvrez d'abord la vanne liquide, puis la vanne gaz, puis attendez une bonne minute afin que les pressions HP et BP s'égalisent (cela permettra au compresseur de démarrer avec le minimum de contraintes mécaniques, donc sans risquer une coupure intempestive par la sécurité interne du moteur). **Vérifiez impérativement l'étanchéité de tous les raccords** (voir *page 287*).

Mettre le climatiseur en fonctionnement.

Attention, avant d'appuyer sur le bouton marche, vous devez être absolument certain que toutes les consignes du constructeur ont été parfaitement respectées. Si ce n'est pas le cas, vous risquez simultanément la casse et la perte de la garantie.

Vérifier les conditions de fonctionnement.

La mise en route d'un appareil ne consiste pas simplement à appuyer sur le bouton marche. Il est important d'effectuer les différents tests permettant de vérifier l'ensemble des fonctions de l'appareil.

Attention, certains climatiseurs sont équipés d'un dispositif anti courts cycles qui interdit pendant quelques minutes le redémarrage du compresseur après un arrêt (cela permet d'attendre l'équilibre des pressions HP et BP afin de faciliter le redémarrage). Ce n'est alors pas une panne, mais un fonctionnement normal.

Ensuite, vous devez vérifier les conditions de fonctionnement en effectuant, *dans la mesure du possible*, des relevés de pressions et de températures. ***C'est en examinant les appareils qui fonctionnent bien que vous apprendrez à reconnaître ceux qui fonctionnent mal.***

	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°17 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX
1	Lorsque le Split est prévu pour des raccordements Quick, l'unité intérieure et l'unité extérieure sont livrées préchargées en fluide Frigorigène		
2	Lorsque le Split est prévu pour des raccordements Flare, l'unité intérieure est livrée chargée en fluide frigorigène alors que l'unité extérieure est livrée préchargée en azote		
3	Avant de raccorder un flexible de manifold sur une vanne de service équipée d'une prise de pression à valve, il faut obligatoirement s'assurer que cette vanne de service est en position siège arrière		
4	Avant de raccorder un manomètre sur une vanne de service équipée d'une prise de pression sans valve, il faut obligatoirement s'assurer que cette vanne de service est en position siège arrière		
5	Si un Split est prévu pour des raccordements Flare, il est recommandé de raccorder l'unité intérieure avant de raccorder l'unité extérieure.		
6	En cas de raccordements Flare, il faut que les 2 vannes de service soient en siège intermédiaire avant effectuer une purge de l'air par la méthode de la chasse		
7	En cas de raccordements Quick, il faut que les 2 vannes de service soient en position siège avant afin d'effectuer une purge de l'air par la méthode de la chasse		
8	En cas de raccordements Flare, les 2 vannes de service doivent être en siège avant afin d'évacuer l'air par la méthode du tirage au vide		
9	Il est impératif de fermer la vanne BP du manifold avant d'arrêter la pompe à vide		

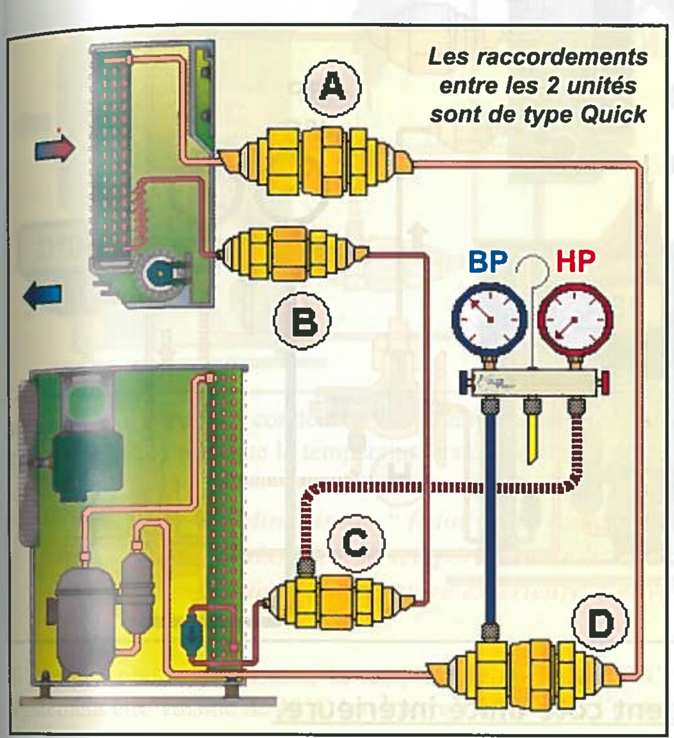
CORRIGÉ DE L'EXERCICE — VRAI — FAUX

1) Vrai. De plus, les tubes de raccordement sont eux même préchargés. - 2) Faux. C'est l'inverse, toute la charge en fluide se trouve dans l'unité extérieure et l'azote dans l'unité intérieure. - 3) : Faux. Il faut obligatoirement s'assurer que le flexible est bien équipé d'un percuteur et on pourra lire la pression quelle que soit la position de la vanne, ouverte ou fermée. - 4) : Vrai. Et pour repérer ce type de vanne, rappelez-vous que la prise de pression n'est pas centrale mais décalée vers le bouchon d'étanchéité de la tige de vanne. - 5) : Faux. Dans ce cas, le fluide se trouve dans l'unité extérieure et il y est confiné par les 2 vannes de service qui sont en siège avant (fermées) à la livraison. On peut donc sans problème y raccorder les 2 tubes sans précipitation et sans risquer une fausse manœuvre. L'unité intérieure est livrée chargée en azote et isolée de l'atmosphère par 2 bouchons d'étanchéité. Pour y raccorder les tubes, il faudra dévisser ces bouchons et l'azote s'échappera. A ce moment, de l'air pourra pénétrer dans l'unité. Il est préférable que cela dure le moins longtemps possible et donc de dévisser les bouchons au dernier moment. - 6) Faux. L'appareil est livré avec les 2 vannes de service en siège avant (fermée). La vanne gaz doit impérativement rester en siège avant et il faut juste entrouvrir d'un demi tour la vanne liquide pour permettre à l'air de s'échapper par la vanne gaz - 7) : Faux. En cas de raccordement Quick, il n'y a pas de vannes de service ! - 8) : Vrai. Sinon vous allez perdre toute la charge en fluide frigorigène et en plus, vous risquez de détériorer sérieusement la pompe à vide ! - 9) : Vrai. Sinon de l'air pourrait pénétrer dans le circuit que vous venez de tirer au vide et vous perdriez donc tout le bénéfice de l'opération !

LE CONTRÔLE DES CONDITIONS NORMALES DE FONCTIONNEMENT

Sur le plan frigorifique, la méthode de contrôle des conditions de fonctionnement dépend des équipements de l'appareil.

Montage des manomètres - Cas de Raccordements Quick.



En ce qui concerne les raccords Quick **A**, **B**, **C** et **D** ci-contre, il n'y a aucune de vanne à manœuvrer.

La membrane de chaque raccord s'est déchirée au moment du serrage et le fluide frigorigène traverse en permanence chaque raccord (voir *page 211*).

Vous pouvez raccorder le manomètre BP sur la prise de pression à valve du raccord Quick repère **D**, situé sur l'aspiration du compresseur.

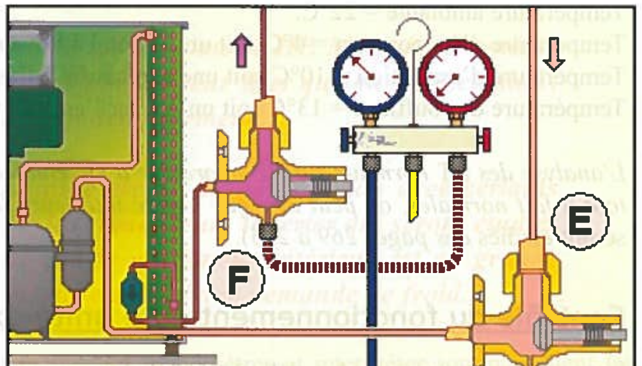
Si le raccord Quick repère **C** placé sur la ligne liquide possède une prise de pression, vous pourrez également raccorder le manomètre HP. Cela vous facilitera la tâche pour contrôler les conditions de fonctionnement.

Montage des manomètres - Cas de Raccordements Flare.

Si les raccordements sont de type Flare avec des vannes de service à valve, les 2 vannes doivent être en position siège arrière (repère **E** et **F**).

Vous pouvez raccorder le manomètre BP sur la prise de pression à valve de la vanne repère **E**, situé sur l'aspiration du compresseur.

Si la vanne repère **F** placé sur la ligne liquide possède une prise de pression, vous pourrez également raccorder le manomètre HP.



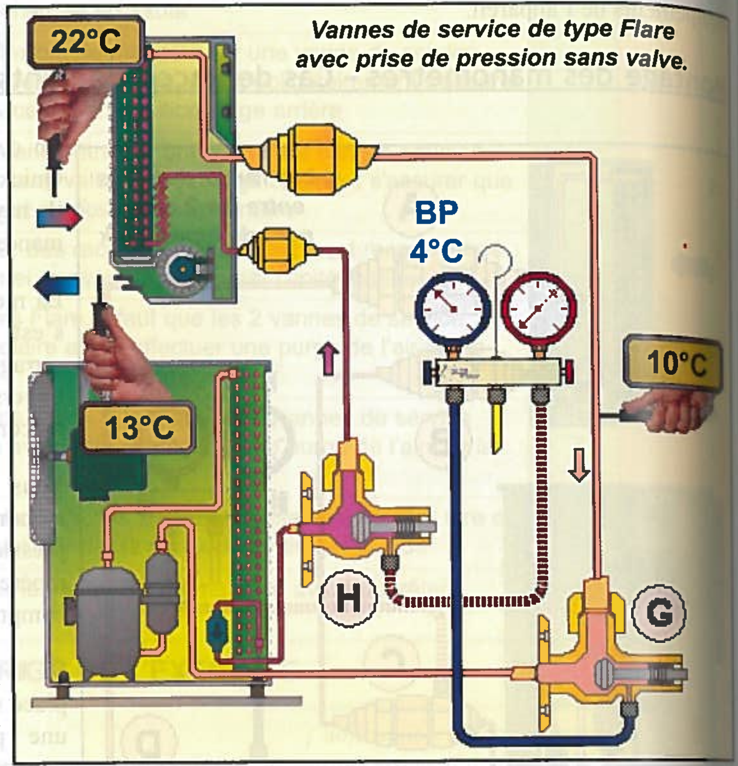
Vannes de type Flare avec prise de pression à valve

Soyez très attentif en raccordant le flexible (qui doit obligatoirement posséder un percuteur) sur la valve d'une vanne liquide. Si du liquide s'échappe pendant l'opération, il se vaporise à la pression atmosphérique à une température très faible (environ -52°C pour du R410A), ce qui pourrait vous occasionner une brûlure très sévère !

Si les raccordements sont de type Flare avec des vannes de service sans valve, la vanne gaz (repère G) doit être mise en position siège arrière pour raccorder le manomètre BP puis ramenée d'un demi tour vers l'avant pour lire la pression d'aspiration.

Si la vanne liquide (repère **H**) possède également une prise de pression, il faut effectuer la même manœuvre que pour la vanne gaz afin de mesurer la pression HP.

Par contre, si la vanne **H** ne possède pas de prise de pression, il faut s'assurer qu'elle est complètement en siège arrière.



Vannes de service de type Flare avec prise de pression sans valve.

Contrôle du fonctionnement côté unité intérieure.

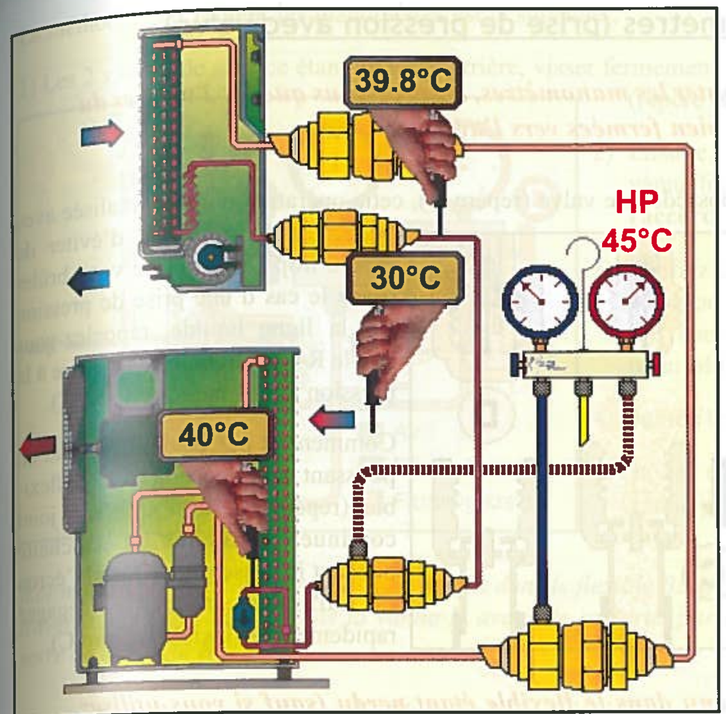
Selon le type l'appareil et les conditions de température au moment des mesures, vous effectuerez par exemple les relevés suivants, ***le ventilateur étant en grande vitesse et le compresseur en pleine demande de froid*** (voir schéma ci-dessus) :

Température ambiante = 22°C.
Température d'évaporation = 4°C soit un ΔT total à l'évaporateur = 22 - 4 = 18°C.
Température d'aspiration = 10°C soit une surchauffe à l'aspiration = 10 - 4 = 6°C
Température de soufflage = 13°C soit un ΔT sur l'air à l'évaporateur = 22 - 13 = 9°C.

L'analyse des ΔT normaux sur l'évaporateur a été étudiée page 174. Les valeurs mesurées étant tout à fait normales, on peut dire que l'unité intérieure fonctionne correctement (les pannes BP seront étudiées *des pages 269 à 295*).

Contrôle du fonctionnement côté unité extérieure.

Le contrôle est un peu plus délicat lorsque la vanne liquide (ou le raccord Quick liquide) ne possède pas de prise de pression...



Cependant, il est toujours possible, *le compresseur étant en pleine demande de froid*, de mesurer la température extérieure (30°C dans notre exemple) ainsi que la température du liquide à la sortie du condenseur (ici 40°C).

On peut déjà en tirer les conclusions suivantes :

Avec une température extérieure de 30°C, en considérant un ΔT total normal au condenseur d'environ 15°C, la température de condensation *devrait se situer aux alentours de 45°C.*

Avec un sous refroidissement d'environ 5°C, on devrait mesurer à la sortie du condenseur une température du liquide d'environ 45 - 5 = 40°C, soit environ 10°C de plus que la température extérieure.

Sur un climatiseur " froid seul " dont le compresseur fonctionne à pleine puissance, la température de la ligne liquide devrait être plus élevée que la température extérieure d'environ 10°C

S'il n'y a pas de prédétente, la température du liquide à l'entrée de l'unité intérieure devrait également être voisine de 40°C (on trouve 39,8°C dans l'exemple, ce qui est tout à fait correct).

Si les mesures de température donnent des résultats très différents, c'est l'indice d'une anomalie de fonctionnement (l'étude des ΔT normaux sur les condenseurs a été réalisée *page 174* et les pannes HP seront analysées *pages 308 à 325*).

Bien sûr, rien ne remplacera un manomètre HP. Malgré tout, même s'il n'y a pas de prise de pression, on peut tirer quelques conclusions et déceler une anomalie de fonctionnement.

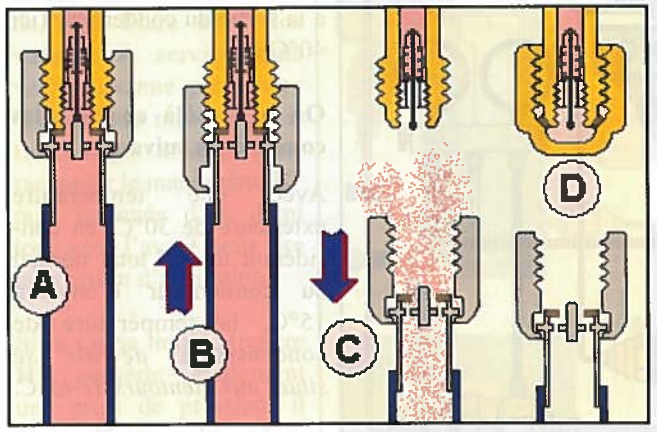
Néanmoins, pour éviter toute erreur d'interprétation avec certains types d'appareils (comme les climatiseurs Inverter qui seront étudiés page 389), assurez-vous que le ventilateur intérieur est en grande vitesse et que le compresseur est en pleine demande de froid.

Maintenant que nous savons comment monter les manomètres et interpréter sommairement les mesures, intéressons-nous à leur démontage...

Démontage des manomètres (prise de pression avec valve).

Avant de démonter les manomètres, assurez-vous que les 2 vannes du manifold sont bien fermées vers l'avant.

Lorsque la prise de pression possède une valve (repère **A**), cette opération doit être réalisée avec beaucoup de soin afin d'éviter de perdre trop fluide ou de vous brûler (dans le cas d'une prise de pression sur la ligne liquide, rappelez-vous que le R410A liquide se vaporise à la pression atmosphérique à -52°C).



Commencez par dévisser l'écrou en poussant vigoureusement sur le flexible (repère **B**), afin que son joint continue d'assurer l'étanchéité pendant le desserrage. Quand l'écrou est suffisamment dévissé, dégagez rapidement le flexible (repère C).

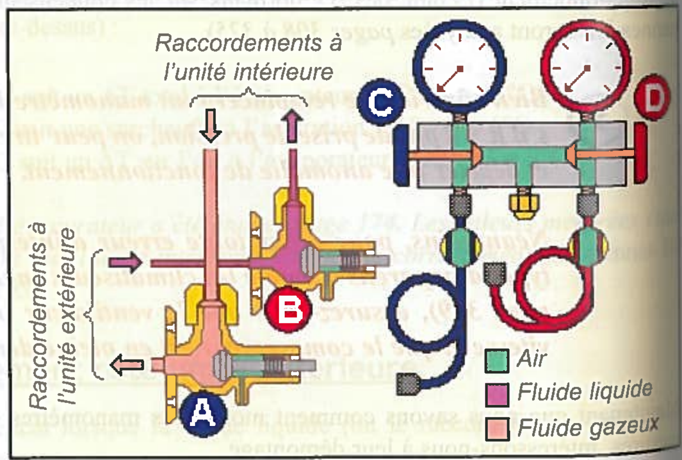
Le fluide contenu dans le flexible étant perdu (sauf si vous utilisez des flexibles avec clapet intégré), il est recommandé d'utiliser de préférence des flexibles courts (donc avec une faible contenance).

Il faut ensuite impérativement remettre le capuchon sur la prise de pression (repère **D**) *en s'assurant que son joint d'étanchéité est bien à l'intérieur.*

Cas particulier des prises de pression sans valve.

Si les 2 vannes de service possèdent une prise de pression sans valve, il est possible de raccorder les manomètres sans risquer de se brûler et en perdant le moins de fluide possible.

La situation de départ est représentée ci-dessous. Les vannes **A** (gaz) et **B** (liquide) sont en position normale sur un appareil en fonctionnement (c'est-à-dire fermées à fond sur l'arrière).

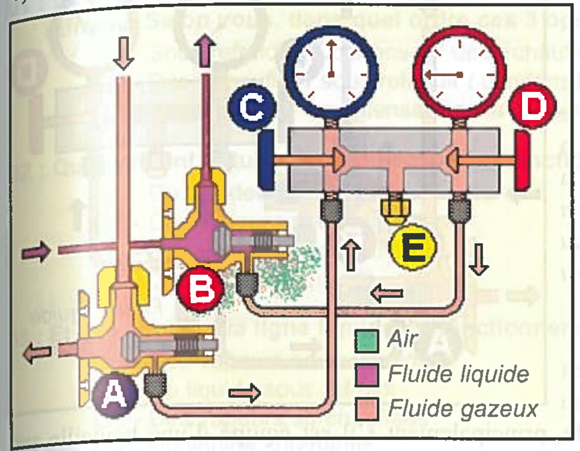


Le manifold possède 2 vannes **C** (BP) et **D** (HP). Un bouchon obstrue la prise de pression du flexible de service

Comment procéderiez-vous pour monter les manomètres afin de contrôler les pressions de service puis pour les démonter, sans risquer d'introduire de l'air dans le circuit ?

La méthode pour monter les manomètres est la suivante :

1) Les 2 vannes de service étant en siège arrière, visser fermement le flexible BP sur la vanne gaz (repère A)



2) Ensuite, Visser le flexible HP sur la vanne liquide (repère **B**), **sans serrer le raccord.**

3) Vérifiez que les 2 flexibles ainsi que le bouchon sur la voie de service (repère **E**) sont serrés fermement sur le manifold.

4) Ouvrez légèrement les 2 vannes **C** et **D**.

5) Ouvrez d'un quart de tour vers l'avant la vanne gaz **A**.

*A ce moment, le gaz sous pression s'engouffre dans le flexible BP en poussant l'air devant lui. L'air traverse alors la vanne **C** puis la vanne **D** avant de ressortir par le raccord volontairement mal serré de la vanne **B**.*

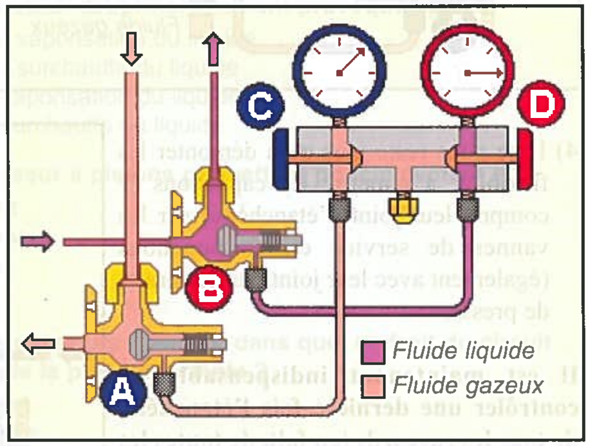
Pour purger les flexibles et la manifold sans danger et en perdant le minimum de fluide frigorigène possible, il faut toujours utiliser du gaz BP plutôt que du liquide HP.

6) Après 4 à 5 secondes, vous pouvez considérer qu'il n'y a plus d'air et reserrer fermement le raccord de la vanne **B.**

7) Fermez fermement les 2 vannes **C** et **D** du manifold.

8) Ouvrez d'un quart de tour vers l'avant la vanne liquide **B.**

Vous venez de raccorder les manomètres absolument sans danger et en perdant le minimum de fluide.



Il ne vous reste plus qu'à lire les pressions de fonctionnement de l'appareil et à en tirer les conclusions.

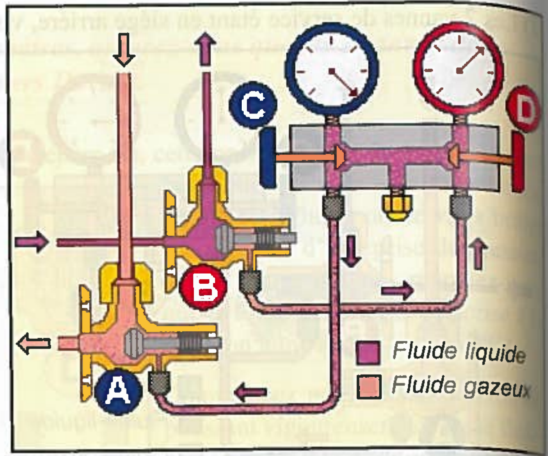
Observez le schéma ci-dessus. Maintenant, comment procéderiez-vous pour démonter les manomètres en perdant le minimum de fluide ?

Pourquoi n'essayeriez-vous pas d'y réfléchir avnt de poursuivre votre lecture ?

Bases du Froid

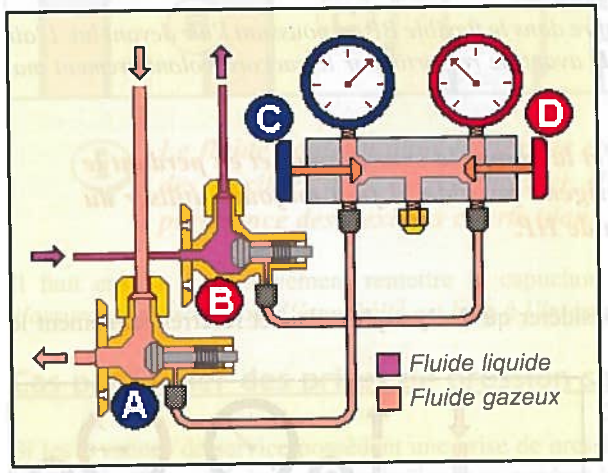
Examinons à présent comment il est recommande de démonter les manomètres.

1) Amenez la vanne liquide **B** en siège arrière, ce qui isole la prise de pression.



2) Ouvrez légèrement les 2 vannes **C** et **D**. A ce moment, le liquide contenu dans le flexible HP est mis en communication avec la faible pression BP régnant dans la vanne **A**. *Cette brutale chute de pression provoque la vaporisation d'une partie du liquide et le mélange liquide-vapeur est alors aspiré par la vanne A.*

Notez que la quantité de liquide qui arrive en **A** est bien trop faible pour faire courir au compresseur le risque d'un coup de liquide, principalement s'il est équipé d'une bouteille anti coups de liquide.



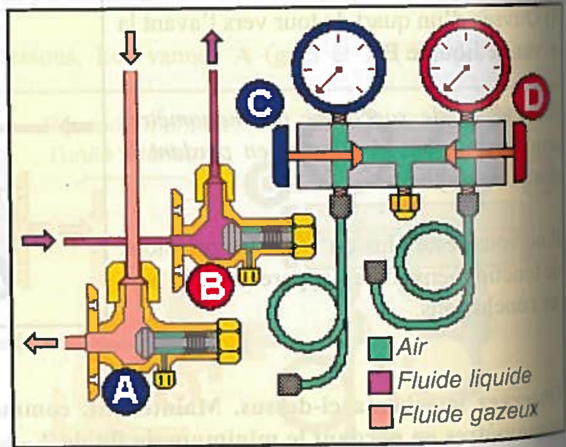
Néanmoins, rappelons qu'il est préférable d'utiliser des flexibles courts.

Lorsque la pression indiquée par chacun des 2 manomètres redevient égale à la BP, c'est qu'il n'y a plus du tout de liquide dans les flexibles.

3) A ce moment repositionnez la vanne A en siège arrière.

Les 2 flexibles et le manifold sont alors remplis de vapeurs BP.

4) Il ne vous reste plus qu'à démonter les flexibles, à remettre les capuchons (y compris leur joint d'étanchéité) sur les vannes de service et les bouchons (également avec leur joint) sur les prises de pression.



Il est maintenant indispensable de contrôler une dernière fois l'étanchéité de tous les raccords (en fait, de toutes les parties du circuit frigorifique sur lesquelles vous êtes intervenu).

Après chaque intervention, vérifiez toujours l'étanchéité, notamment au niveau des vannes de service et des prises de pression.

EXERCICE DE SYNTHÈSE n° 18

01 : Le condenseur a pour rôle de condenser, mais également de désurchauffer et de sous refroidir. Selon vous, dans quel ordre ces 3 opérations se produisent-elles ?
- ☐1 - Sous refroidir / Condenser / désurchauffer
- ☐2 - Désurchauffer / sous refroidir / condenser
- ☐3 - Désurchauffer / condenser / sous refroidir

02 : Que contient le tube de refoulement en fonctionnement normal ?
- ☐1 - Du liquide sous refroidi
- ☐2 - Des vapeurs sous refroidies
- ☐3 - Des vapeurs surchauffées
- ☐4 - Du liquide surchauffé

03 : Et que contient la ligne liquide en fonctionnement normal ?
- ☐1 - Des vapeurs sous refroidies
- ☐2 - Du liquide sous refroidi
- ☐3 - Des vapeurs surchauffées
- ☐4 - Du liquide surchauffé

04 : De quoi dépend la chute de pression dans le détendeur capillaire ?
- ☐1 - Du diamètre intérieur du capillaire
- ☐2 - De la longueur du capillaire
- ☐3 - Les 2 affirmations sont fausses
- ☐4 - Les 2 affirmations sont vraies

05 : Si on installait un capillaire plus long mais de plus gros diamètre intérieur...
- ☐1 - la chute de pression augmenterait
- ☐2 - la chute de pression diminuerait
- ☐3 - la chute de pression ne varierait pas
- ☐4 - On ne peut rien affirmer avec certitude

06 : L'absorption de chaleur dans l'évaporateur est principalement provoquée par...
- ☐1 - de la chaleur sensible due à la vaporisation du liquide
- ☐2 - de la chaleur sensible due à la surchauffe du liquide
- ☐3 - de la chaleur latente due à la vaporisation du liquide
- ☐4 - de la chaleur latente due à la surchauffe du liquide

07 : Les vapeurs aspirées par un compresseur à pistons permettent principalement de...
- ☐1 - ramener l'huile au compresseur
- ☐2 - refroidir le moteur du compresseur
- ☐3 - Les 2 affirmations sont fausses
- ☐4 - Les 2 affirmations sont vraies

08 : Le compresseur étant à l'arrêt depuis plusieurs minutes, dans quel endroit du circuit la pression du fluide frigorigène est-elle la plus importante ?
- ☐1 - A l'entrée du détendeur capillaire
- ☐2 - A la sortie du détendeur capillaire
- ☐3 - La pression est la même partout

09 : Lorsque le thermostat arrête le compresseur...
- ☐1 - la HP diminue et la BP augmente
- ☐2 - la HP et la BP augmentent
- ☐3 - la HP et la BP diminuent
- ☐4 - la HP augmente et la BP diminue

10 : Lorsque le thermostat redémarre le compresseur...

- ☐1 - la HP diminue et la BP augmente
- ☐2 - la HP et la BP augmentent
- ☐3 - la HP et la BP diminuent
- ☐4 - la HP augmente et la BP diminue

11 : En fonctionnement normal, il y a de l'huile à l'intérieur...

- ☐1 - de l'évaporateur
- ☐2 - du condenseur
- ☐3 - du compresseur
- ☐4 - les 3 affirmations sont vraies

12 : Si les ailettes du condenseur sont encrassées, le fluide est moins bien refroidi et la HP augmente. Mais, que fait le sous refroidissement à la sortie du condenseur ?

- ☐1 - Il augmente
- ☐2 - Il diminue
- ☐3 - Il ne varie pas

13 : Si les ailettes du condenseur sont encrassées, la HP augmente. Mais, que fait la surchauffe à l'aspiration du compresseur ?

- ☐1 - Elle augmente
- ☐2 - Elle diminue
- ☐3 - Elle ne varie pas

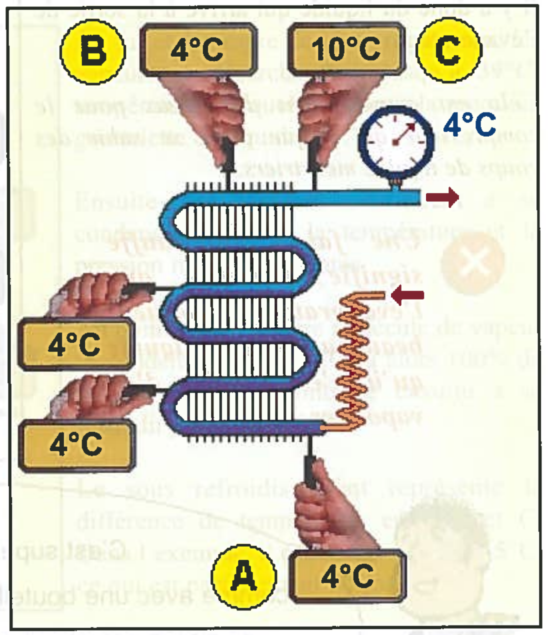
Correction de l'exercice

01 : Réponse 3. Les vapeurs sont désurchauffées, puis elles se condensent et enfin elles sont sous refroidies dans le bas du condenseur. - 02 : Réponse 3. Le tube de refoulement contient des vapeurs surchauffées. - 03 : Réponse 2. La ligne liquide contient du liquide sous refroidi. - 04 : Réponse 4. la chute de pression dépend du diamètre intérieur du capillaire (elle augmente si on diminue le diamètre) et de la longueur du capillaire (elle augmente si on augmente la longueur). - 05 : Réponse 4. L'augmentation de longueur augmente la perte de charge mais l'augmentation du diamètre intérieur la diminue : on ne peut donc rien affirmer avec certitude. - 06 : Réponse 3. Environ 95% de puissance frigorifique de l'évaporateur est due à la chaleur latente due à la vaporisation du liquide. - 07 : Réponse 4. Les vapeurs aspirées par un compresseur à pistons permettent simultanément de ramener l'huile au compresseur et de refroidir son moteur. - 08 : Réponse 3. Dès que le compresseur s'arrête, les pressions HP et BP s'égalisent rapidement par l'intermédiaire du détendeur capillaire. - 09 : Réponse 4. Lorsque le thermostat arrête le compresseur, la HP diminue et la BP augmentent puisque ces 2 pressions s'égalisent. - 10 : Réponse 4. A l'arrêt, la HP est égale à la BP, par exemple disons que ces pressions sont toutes 2 égales à 15 bar avec du R410A. Lorsque le thermostat va redémarrer le compresseur, la HP va augmenter rapidement (vers 25 bar) et la BP va diminuer (vers 8 bar). - 11 : Réponse 4. De l'huile part en permanence par le refoulement, il y a donc de l'huile dans toutes les parties du circuit. L'important est que l'huile qui part puisse revenir au carter. C'est pourquoi il est impératif de respecter les prescriptions du constructeur concernant la longueur maximale de tube et le dénivelé maximum entre les 2 unités. - 12 : Le condenseur étant sale, sa puissance est très nettement diminuée et le fluide est très mal refroidi. Ce mauvais refroidissement provoque une augmentation de la température de condensation (et donc de la HP) mais également une diminution du sous refroidissement (nous verrons qu'en cas d'encrassage très important le sous refroidissement peut même être nul.- 13. Réponse 2. plus la HP augmente et plus le capillaire débite de liquide : c'est pourquoi la surchauffe à l'aspiration diminue, et parfois dangereusement.

INTERPRÉTATION DES VALEURS DE LA SURCHAUFFE ET DU SOUS REFROIDISSEMENT

LA SURCHAUFFE.

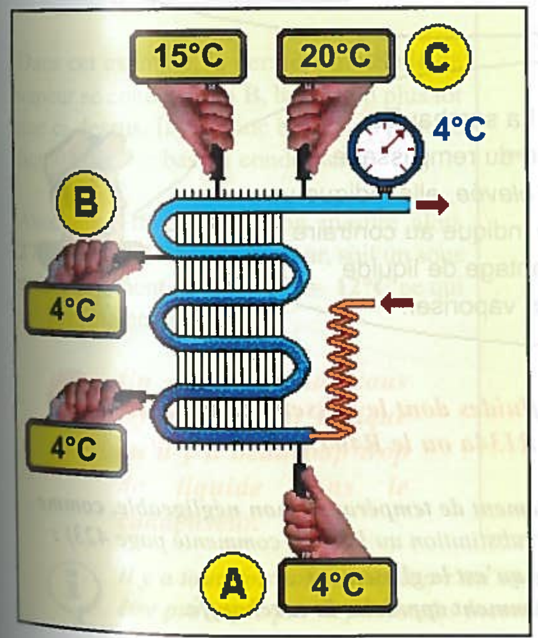
Rappelons que la surchauffe représente la différence entre la température du palier de vaporisation lue au manomètre BP (soit 4°C dans l'exemple ci-contre) et la température des gaz mesurée à la sortie de l'évaporateur.



En fonctionnement normal, c'est un mélange *d'environ* 20% de vapeurs et 80% de liquide qui sort du détendeur (point **A**).

Au fur et à mesure de sa progression dans l'évaporateur, le liquide à **4°C** (dans l'exemple) se vaporise à température constante en absorbant la chaleur de l'air chaud brassé par le ventilateur. La dernière gouttelette de liquide se vaporise à 4°C vers la sortie de l'évaporateur (point **B**).

Les vapeurs continuent ensuite à se réchauffer jusqu'au point **C**. La surchauffe représente la différence de température entre **C** et **B**. Ici, elle est égale à 10 - 4 = **6°C**, ce qui est parfaitement normal.



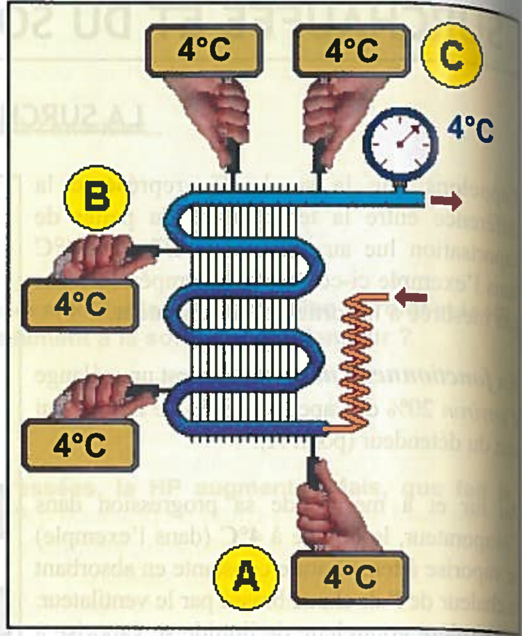
Surchauffe trop élevée (supérieure à une dizaine de °C).

Dans cet exemple, la dernière gouttelette de liquide se vaporise en **B**, bien plus tôt qu'en fonctionnement normal. C'est pourquoi on mesure alors **20°C** à la sortie de l'évaporateur, donc beaucoup plus que ci-dessus. La surchauffe est donc de 20 - 4 = **16°C**, ce qui est anormalement élevé.

Une grande surchauffe signifie toujours que la dernière gouttelette de liquide se vaporise beaucoup trop tôt dans l'évaporateur et donc que celui-ci ne contient pas suffisamment du liquide.

Surchauffe trop faible (inférieure à 5°C).

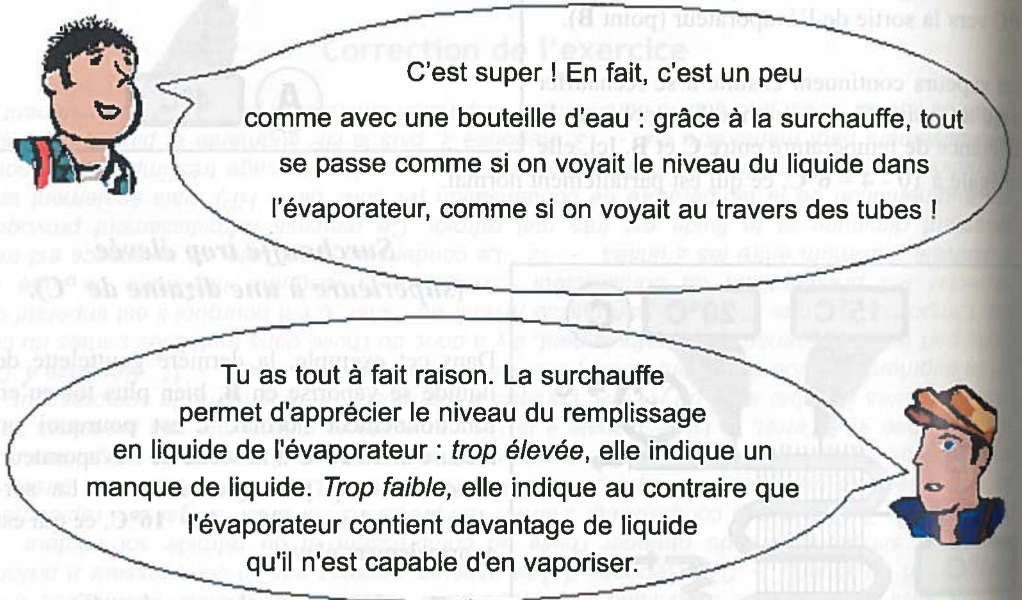
Dans ce nouvel exemple, toujours avec une BP de 4°C, on mesure également **4°C** à la sortie de l'évaporateur, soit une surchauffe anormalement faible de 4 - 4 = **0°C**.



Il y a donc du liquide qui arrive à la sortie de l'évaporateur.

Cela est extrêmement dangereux pour le compresseur qui risque alors se subir des coups de liquide meurtriers.

Une faible surchauffe signifie toujours que l'évaporateur contient beaucoup plus de liquide qu'il n'est capable d'en vaporiser.



Ce chapitre ne concerne que les fluides dont le glissement est voisin de 0°C comme le R22, le R410A, le R134a ou le R404A.

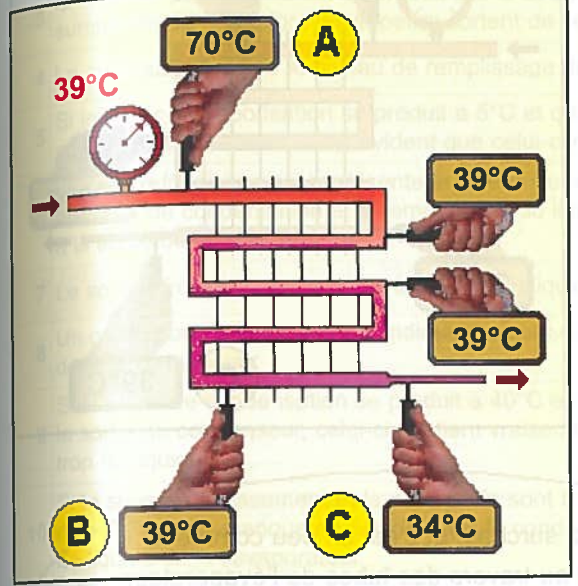
***Pour les fluides présentant un glissement de température non négligeable, comme le R407C ou le R417A** (ce fluide de substitution au R22 est commenté page 423) :*

- ***Voir page 258 pour savoir ce qu'est le glissement***
- ***Voir page 259 pour savoir comment apprécier la surchauffe.***

LE SOUS REFROIDISSEMENT.

Rappelons que le sous refroidissement représente la différence entre la température du palier de condensation lue au manomètre HP (soit 39°C dans l'exemple ci-dessous) et la température du liquide mesurée à la sortie du condenseur.

En fonctionnement normal, les vapeurs à *environ* 70°C pénètrent dans le condenseur (point **A**).



Au fur et à mesure de leur progression, les vapeurs se désurchauffent jusqu'à **39°C**, température à laquelle apparaît la première gouttelette de liquide.

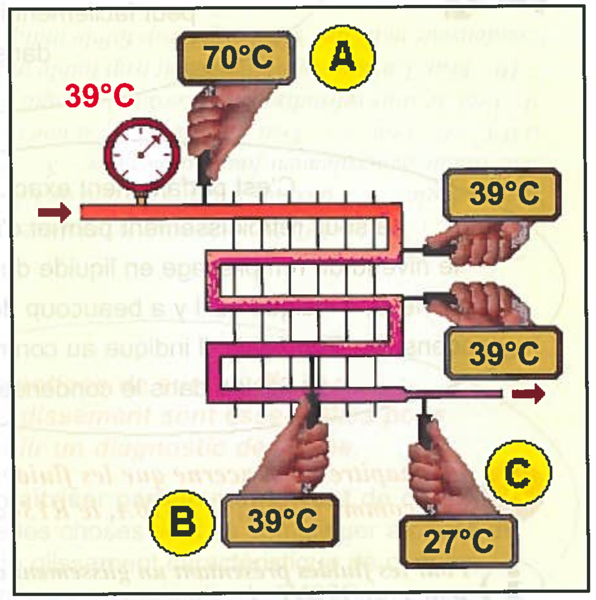
Ensuite, les vapeurs continuent à se condenser à **39°C**, la température et la pression restant constantes.

Au point **B**, la dernière molécule de vapeur se condense à **39°C** : il y a alors 100% de liquide. Celui-ci continue ensuite à se refroidir jusqu'au point **C**.

Le sous refroidissement représente la différence de température entre **B** et **C**. Dans l'exemple, il est égal à 39 - 34 = **5°C**, ce qui est parfaitement normal.

Sous refroidissement trop élevé (supérieur à 7°C).

Dans cet exemple, la dernière molécule de vapeur se condense en **B**, beaucoup plus tôt que ci-dessus. Il y a donc beaucoup plus de liquide dans le bas du condenseur.



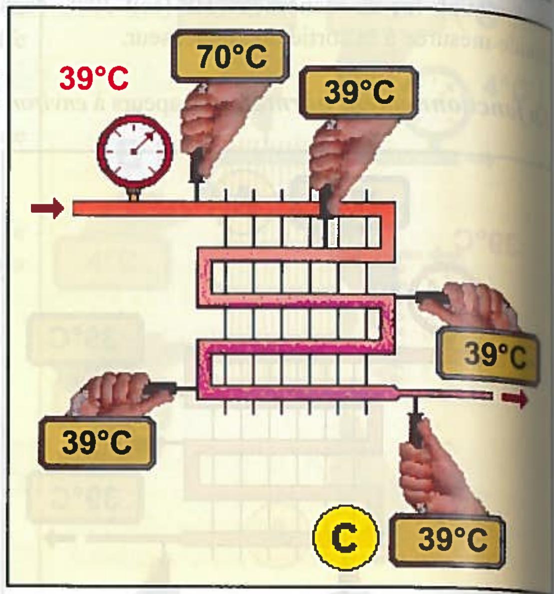
Avec une HP de **39°C**, on mesure alors 27°C à la sortie du condenseur, soit un sous refroidissement de 39 - 27 = **12°C** ce qui est anormalement élevé.

Un trop grand sous refroidissement indique qu'il y a beaucoup trop de liquide dans le condenseur.

***Il y a toutefois une exception : un sous refroidissement trop élevé peut également être provoqué par la panne des incondensables étudiée** page 320.*

Sous refroidissement trop faible (inférieur à 4°C).

Dans ce nouvel exemple, avec une HP de 39°C, on mesure également 39°C à la sortie du condenseur.



Le sous refroidissement est donc égal à 39 - 39 = 0°C, ce qui est anormalement faible.

Un sous refroidissement trop faible indique qu'il manque du liquide dans le condenseur.

Il y a toutefois une exception : un sous refroidissement trop faible peut également être provoqué par la panne du condenseur trop petit étudiée page 308.



Avec la surchauffe, c'est un peu comme si on voyait au travers des tubes de l'évaporateur. En plus, grâce au sous refroidissement, on peut facilement imaginer le niveau du liquide dans le condenseur.



C'est parfaitement exact. Le sous refroidissement permet d'apprécier le niveau du remplissage en liquide du condenseur : *trop élevé*, il indique qu'il y a beaucoup de liquide dans le condenseur. *Trop faible*, il indique au contraire qu'il manque du liquide dans le condenseur.

Ce chapitre ne concerne que les fluides dont le glissement est voisin de 0°C comme le R22, le R410A, le R134a ou le R404A.

***Pour les fluides présentant un glissement de température non négligeable, comme le R407C ou le R417A** (ce fluide de substitution au R22 est commenté page 423)* **:**

- ***Voir page 258 pour savoir ce qu'est le glissement***
- ***Voir page 263 pour savoir comment apprécier le sous refroidissement.***

	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°19 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX
1	La surchauffe représente la différence entre la température du palier de condensation et la température du liquide mesurée à la sortie du condenseur		
2	Une surchauffe trop importante indique toujours qu'il manque du liquide dans l'évaporateur		
3	Si le palier de vaporisation se produit à 5°C et qu'on mesure une surchauffe de 5°C, alors les vapeurs sortent de l'évaporateur à 0°C		
4	La surchauffe indique le niveau de remplissage de l'évaporateur		
5	Si le palier de vaporisation se produit à 5°C et qu'on mesure 5°C à la sortie de l'évaporateur, il est évident que celui-ci contient trop de liquide		
6	Le sous refroidissement représente la différence entre la température du palier de condensation et la température du liquide mesurée à la sortie du condenseur		
7	Le sous refroidissement indique le niveau du liquide dans le condenseur		
8	Un grand sous refroidissement indique toujours qu'il y a trop de liquide dans le condenseur		
9	Si le palier de condensation se produit à 40°C et qu'on mesure 28°C à la sortie du condenseur, celui-ci contient vraisemblablement beaucoup trop de liquide		
10	Si le sous refroidissement et la surchauffe sont tous les deux faibles, cela indique un manque de liquide dans le condenseur mais un excès de liquide dans l'évaporateur		

CORRIGÉ DE L'EXERCICE

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VRAI									
FAUX									

1 : Faux, c'est la définition du sous refroidissement - 2 : Vrai Et il n'y a aucune exception à cette règle - 3 : Faux, les vapeurs sortent de l'évaporateur à 5 + 5 = 10°C - 4 : Vrai Et c'est une valeur généralement facile à mesurer - 5 : Vrai puisque la surchauffe serait alors égale à 0°C - 6 : Vrai - 7 : Vrai - 8 : Faux, il y a une exception avec la panne des incondensables - 9 : Vrai, le sous refroidissement serait alors égal à 40 - 28 = 12°C, ce qui anormalement élevé - 10 : Vrai. Un sous refroidissement trop faible indique toujours un manque de liquide dans le condenseur mais une surchauffe trop faible indique un excès de liquide dans l'évaporateur.



Les notions de surchauffe et de sous refroidissement sont essentielles pour établir un diagnostic de panne.

Vous devez les maîtriser parfaitement avant de continuer, d'autant plus que les choses vont se compliquer à cause du phénomène de glissement caractéristique de certains fluides frigorigènes, en particulier le R407C que vous rencontrerez sûrement en climatisation...

PROBLÈMES SOULEVÉS PAR LES NOUVEAUX FLUIDES FRIGORIGÈNES



Jusqu'à la signature du fameux protocole de Montréal en septembre 1987, la plupart des frigoristes étaient des gens relativement heureux. Ils utilisaient les fluides frigorigènes disponibles depuis pas mal d'années et les maîtrisaient plutôt bien :

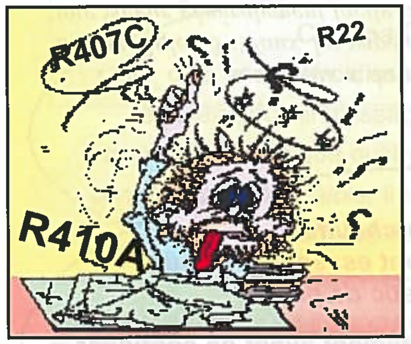
- En froid commercial, le R12 et le R502 étaient les plus courants.
- En climatisation, le R22 était utilisé dans quasiment tous les climatiseurs individuels et le R12 en " clim auto ".

Et voila qu'en 1987 à Montréal, ont dit aux frigoristes que le R12 et le R502 (et bien d'autres) sont des **CFC** (chlorofluorocarbures) qui détruisent la couche d'ozone. En conséquence, ces fluides devaient disparaître avant 10 ans ! L'échéance semblait bien lointaine et les frigoristes ont continué à utiliser les CFC de plus belle, d'autant qu'il n'y avait pas vraiment de solutions de remplacement sauf à concevoir les installations neuves avec du R22, quand c'était possible.

Après plusieurs révisions du protocole initial, les choses se sont bien précisées puisque les CFC ne sont plus fabriqués depuis le 1 janvier 1995.



Le R22 a bénéficié d'un sursis mais son utilisation dans les appareils neufs est interdite depuis le 01/01/2004 et il n'est plus fabriqué depuis le 01/01/2010 (seuls les fluides recyclés restent tolérés jusqu'au 01/01/2015 avant d'être définitivement interdits (voir *pages 425 à 431*).



Pendant ce temps, les chimistes ne sont pas restés inactifs et une multitude de nouvelles molécules sont alors apparues sur le marché. Il s'agit en particulier des nouveaux fluides **HFC** (Hydrofluorocarbures) dont l'action sur l'environnement a été jugée à l'époque mineure.

Parmi ces fluides considérés comme définitifs (et qui sont aujourd'hui pour la plupart en sursis), les plus utilisés en climatisation de confort sont le R410A qui présente de nombreux avantages et dans une moindre mesure le R407C.

Par rapport au R22, l'utilisation des HFC (comme le R407C ou le R410A) soulève des problèmes bien particuliers, au montage comme à la maintenance des installations. Notez que la plupart de ces problèmes existaient déjà avec les autres fluides mais qu'ils se trouvent amplifiés par la nature même des HFC.

Problèmes généraux posés par les HFC sur les installations neuves.

A l'inverse des CFC (R12, R502, etc.), les nouveaux fluides HFC (R134a, R407C, R410A, etc.) ne contiennent pas de chlore. Ils ont donc un potentiel de destruction de l'ozone nul mais une influence sur l'effet de serre (qui provoque le réchauffement de l'atmosphère terrestre) non négligeable.

Ils ont été présentés *à tort* aux professionnels comme définitifs et ils ont été massivement utilisés pour les applications courantes sur les installations neuves :

- Le **R134a** destiné à remplacer définitivement le R12 pour les applications hautes et moyennes θ a été utilisé entre autre sur des millions de véhicules en « clim » automobile.

  A cause de son GWP de 1430 jugé trop élevé (*voir page 425*) il a été remplacé (pour le moment) par le HFO1234yf dont le GWP n'est que de 4.

- Le **R404A** destiné à remplacer définitivement le R502 puis le R22 en froid commercial pour les applications moyennes et basses températures. Pour vous simplifier la vie, notez que ce fluide est également appelé FX70 par Elf Atochem ou HP62 par Du Pont de Nemours !

  Notez également que son GWP très élevé de 3922 en fait un candidat très en vue par la commission européenne afin de l'exclure définitivement.

- Le **R407C** puis le **R410A**, les leaders en « clim » sont également sur la sellette.

Fidèle à l'esprit de ce manuel, nous éviterons autant que possible la haute théorie pour favoriser (le plus simplement possible) les problèmes pratiques (parfois complexes) liés à l'utilisation de ces fluides tant que leur utilisation sera permise.

En connaissant la nature des problèmes, vous aurez davantage les moyens de les surmonter.

- **LES HUILES :** Le problème des huiles est absolument essentiel puisque au moindre faux pas, *le compresseur risque de casser*. Les huiles utilisées jusqu'à présent avec le R22 sont ***complètement incompatibles*** avec les nouveaux fluides HFC.

  En effet, les compresseurs prévus pour travailler avec ces nouveaux fluides sont chargés avec une huile spéciale, appelée « huile ester », dont il convient de faire connaissance.

  - ***Les huiles ester sont énormément hygroscopiques.*** Elles se chargent très rapidement en humidité dès que le bidon est ouvert à l'air libre. Aussi, quand vous utilisez de l'huile ester, soyez très vigilants : la quantité d'eau introduite dans le circuit en même temps que l'huile peut devenir extrêmement importante !

    Comme le mélange ester + HFC + eau peut générer de *l'acide fluorhydrique*, ***extrêmement agressif et dangereux***, les précautions anti-humidité à respecter lors de toutes les interventions doivent être maximales.

Faites particulièrement attention à votre propre sécurité (yeux, mains, etc.) en manipulant de l'huile polluée.

Dans tous les cas, un bidon d'huile ester ne devrait pas rester ouvert plus de 15 mn (au grand maximum) et devrait être entièrement utilisé (ne prenez pas un bidon de 10 litres si vous n'avez besoin que de 0,5 litre !).

▸ ***Les huiles ester n'aiment pas les mélanges d'huiles.*** Notez que certaines huiles ester contiennent des additifs anti-acides ou (et) anti-usure pour améliorer leurs caractéristiques. Bien sûr, ces additifs sont différents selon les fabricants, ce qui peut poser des problèmes de compatibilité de ces huiles entre elles. De plus, la viscosité résultante d'un mélange de 2 huiles différentes n'est pas maîtrisée, ce qui peut entraîner des problèmes de lubrification très préjudiciables au compresseur.

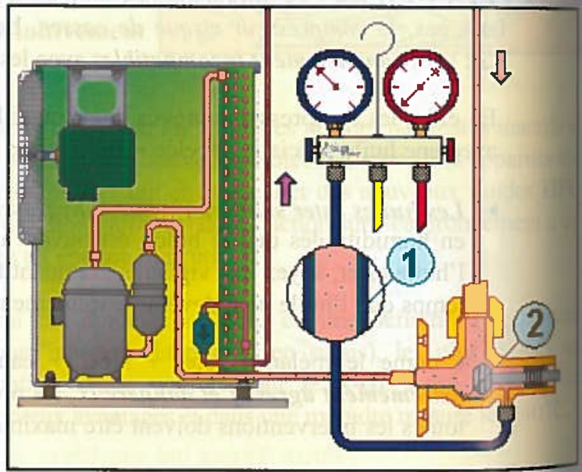
Il est donc préférable d'éviter de mélanger des huiles ester différentes, ce qui risque d'arriver principalement lors d'un appoint, même si le risque est plus faible lorsqu'il s'agit de 2 lubrifiants ester préconisés par le constructeur du compresseur.

Mais le principal problème, c'est que les huiles ester perdent très rapidement leur miscibilité avec les HFC en présence d'une autre famille d'huile. Cette perte de miscibilité est particulièrement rapide et donc dangereuse quand l'huile ester est polluée par une huile minérale et dans une moindre mesure quand il s'agit d'huile alkylbenzène (ou d'un mélange minérale-alkybenzène) parfois utilisée avec le R22.

Or, si la miscibilité huile-fluide frigorigène se dégrade, l'huile qui circule normalement dans l'installation ne peut plus revenir au carter et c'est la « casse » du compresseur assurée !

Selon les conditions de fonctionnement (évaporateur au-dessus ou au-dessous du compresseur, grande longueur de tuyauterie, etc.) ***le pourcentage maximum d'huile minérale admissible dans une huile ester peut devenir inférieur à 1%*** (plusieurs kits d'évaluation rapide sont commercialisés pour contrôler les mélanges d'huiles). C'est pourquoi le dépanneur devra être particulièrement attentif en intervenant sur un circuit contenant des HFC, et donc de l'huile ester.

En particulier, de l'huile se piège facilement, autant dans les flexibles que dans la chambre d'un manifold.



En conséquence, un jeu de manomètres utilisé avec un climatiseur chargé au R22 risque de contenir de l'huile minérale (repère 1) alors qu'un circuit chargé avec un HFC contient de l'huile ester (repère 2).

Un manifold utilisé sur des circuits chargés au R22 ne devrait donc pas être utilisé sur des circuits chargés avec un HFC afin d'éviter un mélange accidentel aux conséquences redoutables pour le compresseur.

Il est donc recommandé d'utiliser 3 manifolds différents (un pour le R22 si vous êtes amené à travailler sur des installations plutôt anciennes, un pour le R407C et un pour le R410A).

Nous vous laissons un peu de place ci-dessous si vous souhaitez rajouter quelques notes personnelles au fur et à mesure de l'évolution de la réglementation.

La réglementation interdisant formellement le rejet de fluide frigorigène à l'atmosphère, les techniques de récupération seront étudiées page 413.

La réglementation européenne a énormément évolué. La capacité des professionnels doit être contrôlée et validée par l'administration : Voir pages 425 à 431.

NOTES PERSONNELLES

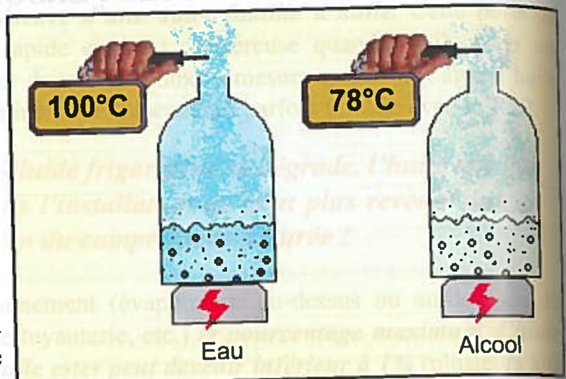
Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

GLISSEMENT, SURCHAUFFE ET SOUS REFROIDISSEMENT AVEC LE R407C

Vous risquez de renconter des climatiseurs individuels et des pompes à chaleur chargés avec du fluide frigorigène R407C. Cela ne va pas sans poser quelques problèmes à cause du phénomène de glissement que nous allons expliquer dans ce chapitre.

A) Le glissement : quelques éclaircissements.

Soit les 2 bouteilles ci-contre contenant respectivement de l'eau et de l'alcool à l'air libre, c'est-à-dire sous la pression atmosphérique.

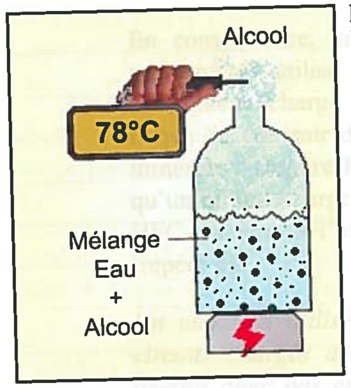


On met en route un dispositif de chauffage et l'on constate (nous le savions déjà) que l'ébullition de l'eau se produit quand sa température atteint 100°C.

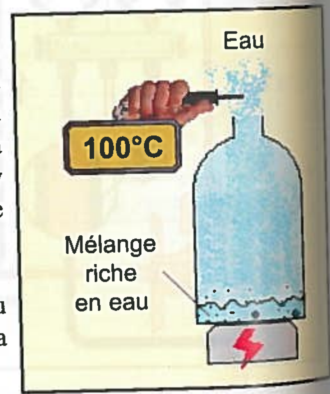
La même expérience effectuée avec la bouteille d'alcool indique que sa température d'ébullition est de 78°C.

A présent, si l'on introduit dans une bouteille un mélange d'eau et d'alcool, que va-t-il se passer quand on va chauffer ce mélange ?

De nombreux paramètres entrent en ligne de compte comme les proportions du mélange, la pression, etc. mais, **pour simplifier à l'extrême,** disons que l'alcool va commencer son ébullition vers 78°C puisque c'est le fluide le plus volatil, c'est-à-dire avec la plus faible température d'ébullition.

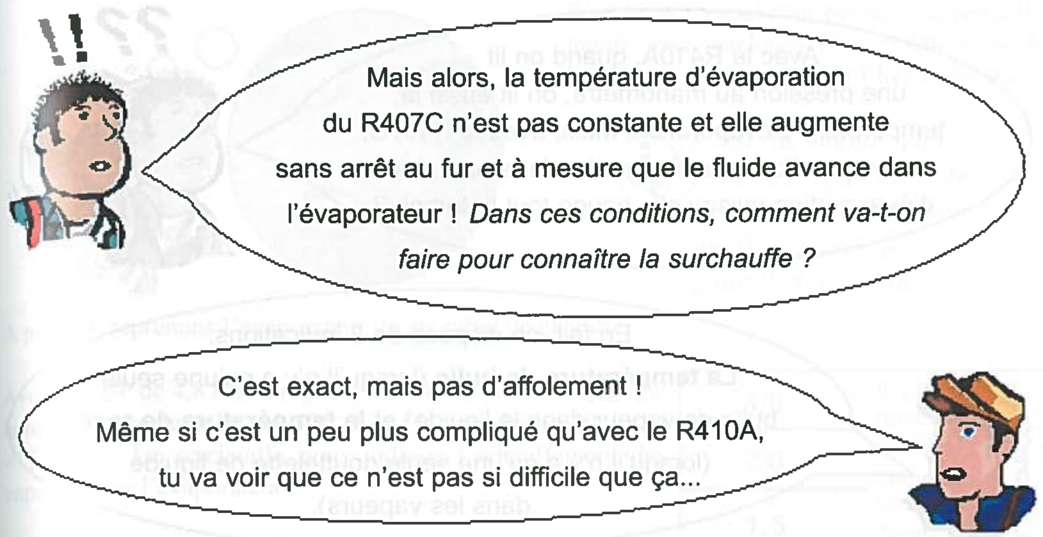


Au fur et à mesure de la vaporisation, le mélange va s'appauvrir en alcool (il y en aura de moins en moins dans la bouteille) et s'enrichir en eau (il y en aura proportionnellement de plus en plus).



Vers la fin de l'expérience, il n'y aura quasiment plus que de l'eau dans la bouteille et c'est donc vers 100°C que se terminera l'ébullition complète.

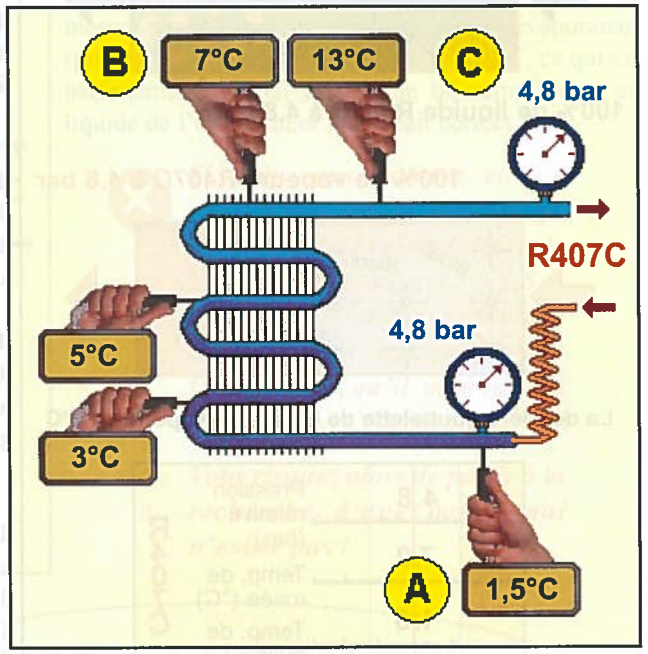
Pour résumer, le mélange commençant à bouillir à 78°C et terminant son ébullition à 100°C, nous dirons qu'il présente un glissement de température de 100 - 78 = 22°C.



B) Mesure de la surchauffe avec le R407C.

Le R407C est un fluide HFC sans effet sur la couche d'ozone composé d'un mélange de R32, de R125 et de R134a, donc effectivement plus complexe que le mélange théorique d'eau et d'alcool que nous avons utilisé page précédente.

Dans l'exemple ci-contre, avec une BP de **4,8 bar**, la température du fluide R407C à la sortie du détendeur capillaire est de **1,5°C** (point A).

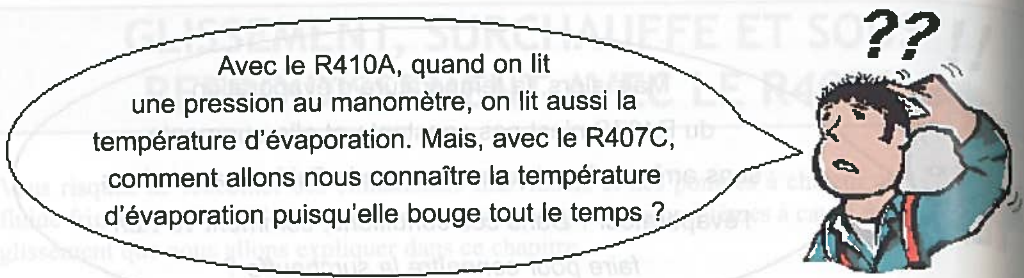


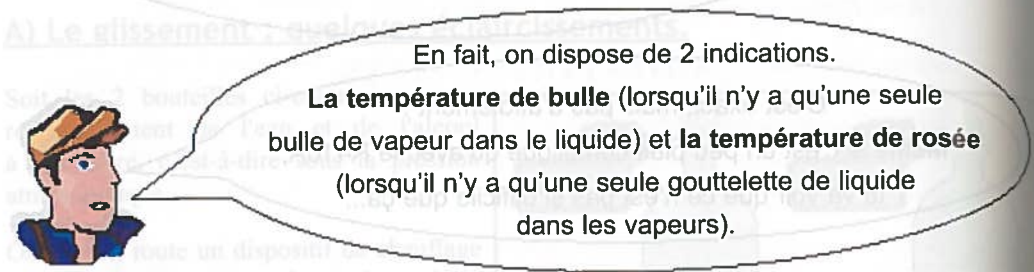
Au fur et à mesure qu'il avance dans l'évaporateur, le fluide se vaporise mais la température du mélange liquide / vapeurs augmente progressivement à cause du phénomène de glissement. Rappelons que simultanément, il y a de moins en moins de liquide et de plus en plus de vapeurs.

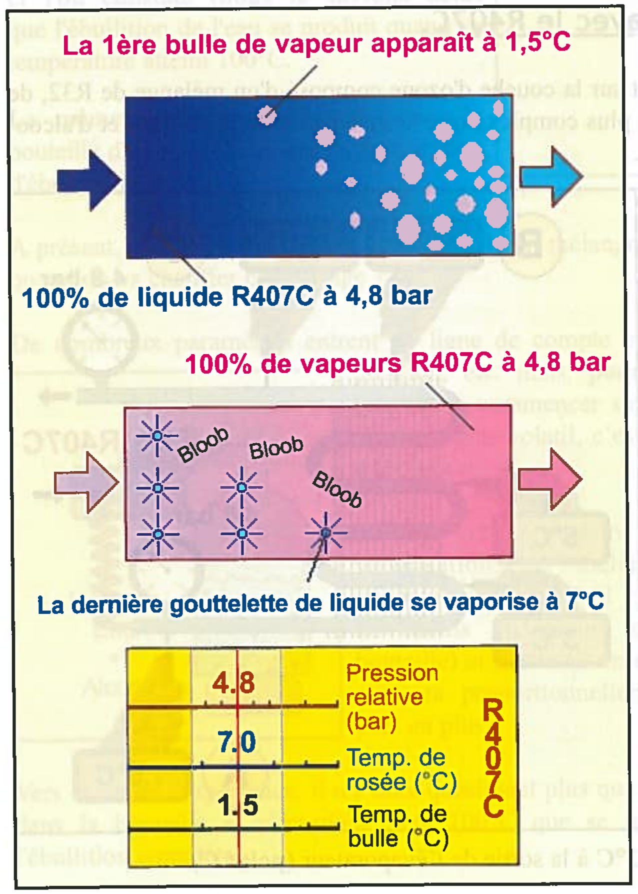
Au moment où la dernière molécule de liquide se vaporise (**point B**), le fluide est à **7°C** et la pression est toujours de **4,8 bar.**

Ensuite, les vapeurs continuent à se réchauffer pour atteindre par exemple **13°C** à la sortie de l'évaporateur (**point C**).

Ainsi, la vaporisation du R407C sous 4,8 bar commence à 1,5°C (point A) et se termine à 7°C (point B). Nous dirons donc que le glissement du R407C est dans ces conditions de 7 - 1,5 = 5,5°C







Le fluide étant à 100% à l'état liquide, la température de bulle indique la température à laquelle apparaît la première bulle de vapeur.

D'une façon plus générale, c'est la température d'un liquide dans lequel il n'y a qu'une seule bulle de vapeur.

Le fluide étant à 100% à l'état vapeur, la température de rosée indique la température à laquelle se vaporise la dernière gouttelette de liquide.

D'une façon plus générale, c'est la température d'une vapeur dans laquelle il n'y a qu'une seule gouttelette de liquide.

Des réglettes spéciales sont disponibles auprès des distributeurs de fluides. Elles permettent de connaître les températures de bulle et de rosée d'un fluide en fonction de la pression.

Dans notre exemple, on lit sur la réglette qu'à 4,8 bar la température de rosée du R407C est de 7°C et que sa température de bulle est de 1,5°C. On peut en déduire que le glissement est alors de 7 - 1,5 = 5,5°C. Notez que ce glissement est variable d'environ 5 à 7°C (selon la pression à laquelle s'effectue le changement d'état physique).



Pour vous en souvenir, pensez à la rosée du matin, avec quelques fines gouttelettes de liquide qui se déposent sur l'herbe des prés.

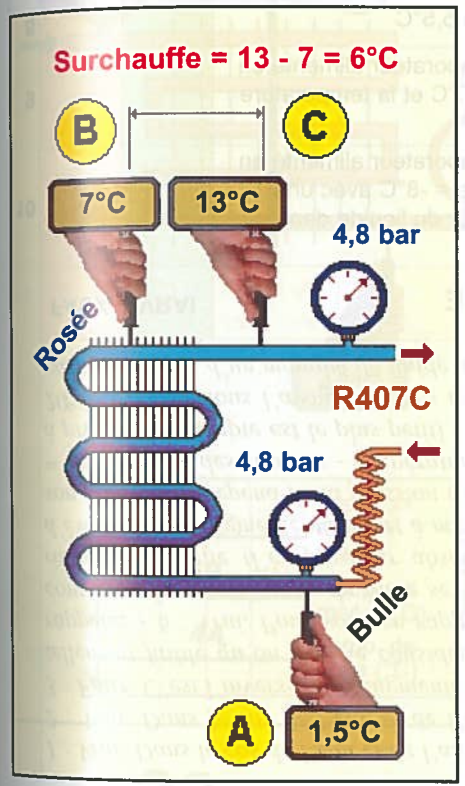
C'est la même chose pour la température de rosée : c'est le moment où il y a très peu de gouttelettes de liquide.

A présent, reprenons l'évaporateur vu en début de chapitre.

Avec une BP de 4,8 bar la réglette du R407C nous indique que la température de bulle = 1,5°C et que la température de rosée = 7°C. Or, La surchauffe nous indique l'échauffement des vapeurs dans l'évaporateur.

4.8	Pression relative (bar)
7.0	Temp. de rosée (°C)
1.5	Temp. de bulle (°C)

R407C

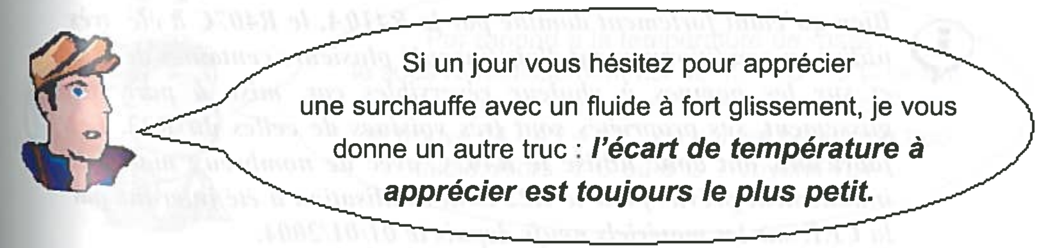


Elle doit donc s'apprécier par rapport à la température de rosée, c'est-à-dire l'instant précis ou la dernière gouttelette de liquide se vaporise (point **B**). Il y a alors 100% de vapeurs.

Ensuite, ces vapeurs continuent à se réchauffer. Si l'on mesure par exemple 13°C à la sortie de l'évaporateur (**point C**), la surchauffe est de 13 - 7 = 6°C, ce qui est parfaitement normal et indique un remplissage en liquide de l'évaporateur tout à fait correct.

Si vous vous trompez et que vous appréciez la surchauffe par rapport à la température de bulle, vous trouvez 13 - 1,5 = 11,5°C soit une surchauffe plutôt élevée qui peut vous faire penser qu'il manque du liquide dans l'évaporateur.

Vous risquez alors de partir à la recherche d'une panne qui n'existe pas !



	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°20: Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX
1	Quand un mélange de plusieurs fluides différents entre en ébullition, c'est d'abord le fluide le plus volatil qui se vaporise		
2	Le glissement représente l'écart de température entre le début et la fin de l'ébullition d'un mélange de fluide		
3	La température d'ébullition du R407C diminue constamment au fur et à mesure de sa progression dans l'évaporateur		
4	Le R410A présente un glissement de 0°C		
5	La température de bulle est la température à laquelle apparaît la première bulle de vapeur au sein d'un liquide		
6	La température de rosée est la température d'une vapeur dans laquelle il n'y a qu'une seule gouttelette de liquide		
7	La température de rosée est toujours plus faible que la température de bulle		
8	Le R407C présente toujours un glissement égal à 5,5°C		
9	Si la température des vapeurs à la sortie d'un évaporateur alimenté en R407C est de 10°C, si la température de bulle = 0°C et la température de rosée = 6°C alors la surchauffe est de 10°C		
10	Si la température des vapeurs à la sortie d'un évaporateur alimenté en R407C est de 18°C et que la température de bulle = -8°C avec une température de rosée = -2°C, il manque à coup sûr du liquide dans l'évaporateur		

CORRIGÉ DE L'EXERCICE — VRAI — FAUX

1 : Vrai. Dans le cas de l'eau et de l'alcool, c'est l'alcool qui entre en ébullition le premier. - 2 : Vrai. Dans le cas de l'eau et de l'alcool, le glissement est donc de 100 - 78 = 12°C - 3 : Faux. C'est l'inverse, elle augmente constamment - 4 : Vrai. En réalité, son glissement est tellement faible qu'on peut le considérer comme nul - 5 : Vrai. Faites l'effort de vous en rappelez - 6 : Vrai. Pour vous en rappeler, pensez à la rosée du matin. - 7 : Faux, c'est le contraire. La température de bulle se situe au début de l'évaporateur et la température de rosée à la sortie (l'évaporateur absorbant de la chaleur, dites-vous que la température d'évaporation augmente au fur et à mesure que le fluide progresse dans l'évapo. - 8 : Faux, son glissement dépend de la pression (il est compris entre 5 et 7°C) - 9 : Faux, la surchauffe = température des vapeurs - température de rosée = 10 - 6 = 4°C (rappelez-vous que l'écart à prendre en compte est le plus petit) - 10 : Vrai, la surchauffe est alors égale à 18 - (-2) = 20°C. Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, une surchauffe aussi élevée est caractéristique d'un manque de fluide dans l'évaporateur.

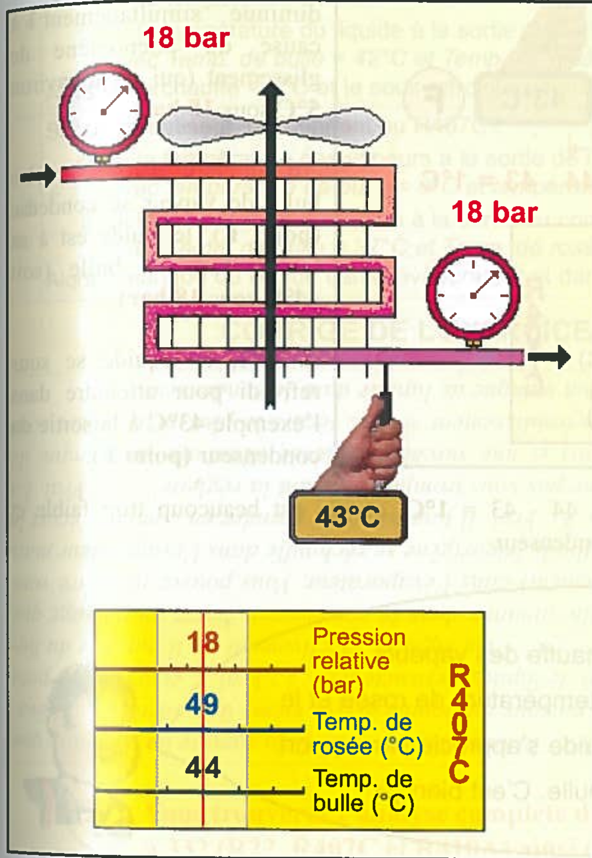
Bien qu'étant fortement dominé par le R410A, le R407C a été très utilisé en conditionnement d'air (jusqu'à plusieurs centaines de kW) et sur les pompes à chaleur réversibles car, mise à part son glissement, ses propriétés sont très voisines de celles du R22. Les fabricants ont donc utilisé le R407C avec de nombreux matériels initialement prévus pour le R22 dont l'utilisation a été interdite par la CEE sur les matériels neufs depuis le 01/01/2004.



Avant de parler du sous refroidissement avec le R407C, soyez sûr d'avoir bien compris les notions de température de bulle, de température de rosée et de glissement.

C) Mesure du sous refroidissement avec le R407C.

A présent, examinons ce qui se passe dans le condenseur à air ci-contre, alimenté avec du R407C.



On lit **18 bar** sur le manomètre HP et **43°C** à la sortie du condenseur.

La réglette indique qu'à **18 bar** la température de rosée est de **49°C** et la température de bulle est de **44°C**.

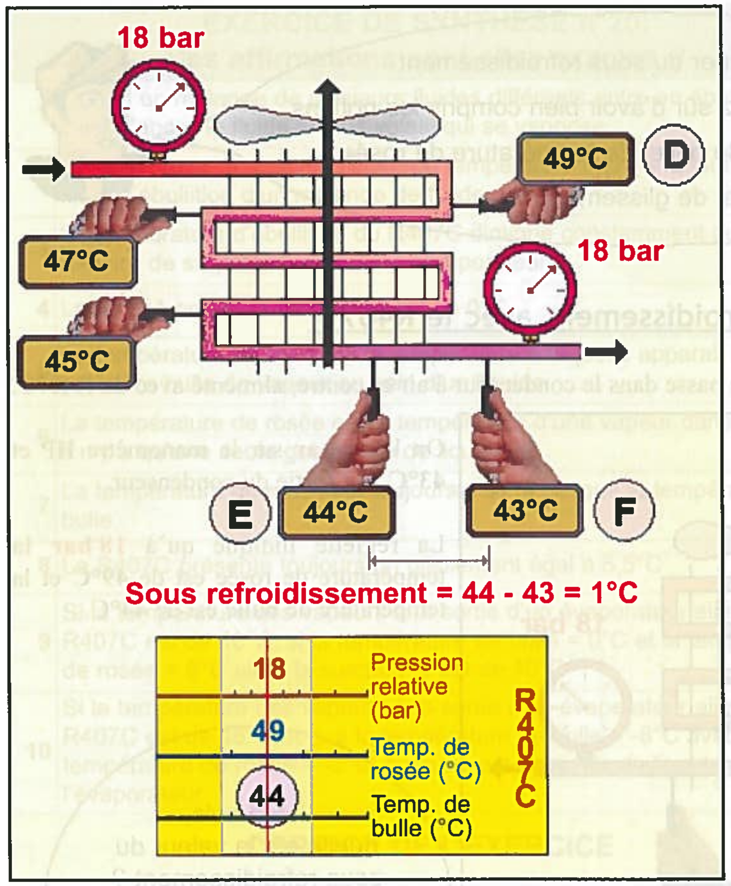


A ton avis, quelle est la valeur du sous refroidissement ?

Quelle conclusion peux-tu en tirer ?



Par rapport à la température de rosée, le sous refroidissement est de 49 - 43 = 6°C ce qui semble correct, mais avec la température de bulle on trouve 44 - 43 = 1°C, ce qui est beaucoup trop faible. Alors, 1°C ou 6°C ? Voyons voir...



Avec une HP de **18 bar** la première gouttelette de liquide apparaît à **49°C (point D)**.

49°C est donc la température de rosée (rappelez-vous, c'est le moment où il y a très peu de liquide).

Au fur et à mesure de leur progression, les vapeurs se condensent. La température du mélange liquide / vapeurs diminue simultanément à cause du phénomène de glissement (qui est d'environ **5°C** sous **18 bar**).

Au moment où la dernière bulle de vapeur se condense (**point E**), le fluide est à sa température de bulle (soit **44°C** sous **18 bar**).

Ensuite, le liquide se sous refroidi pour atteindre dans l'exemple **43°C** à la sortie du condenseur (**point F**).

Le sous refroidissement est donc égal à 44 - 43 = **1°C**, ce qui est beaucoup trop faible et démontre un manque de liquide dans le condenseur.

En résumé, la surchauffe des vapeurs s'apprécie par rapport à la température de rosée et le sous refroidissement du liquide s'apprécie par rapport à la température de bulle. C'est bien ça ?





Tu as parfaitement raison et si un jour tu hésites pour apprécier une surchauffe ou un sous refroidissement avec un fluide à fort glissement, **je te rappelle le truc à retenir absolument** : **l'écart de température à apprécier est toujours le plus petit.**

	EXERCICE DE SYNTHÈSE : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX
1	La température des vapeurs à la sortie d'un évaporateur alimenté en R407C est de 6°C. Si la température de bulle = 0°C et la température de rosée = 6°C, alors il manque du liquide dans cet évaporateur		
2	La température du liquide à la sortie d'un condenseur alimenté en R407C est de 40°C. Si la température de bulle = 42°C et la température de rosée = 47°C, alors il manque du liquide dans ce condenseur		
3	La température de condensation du R407C diminue constamment au fur et à mesure de sa progression dans le condenseur		
4	Sur un climatiseur fonctionnant au R407C : ▷ Si la température des vapeurs à la sortie de l'évaporateur = 15°C *avec température de bulle = 2°C et température de rosée = 8°C* ▷ Si la température du liquide à la sortie du condenseur = 37°C *avec Temp. de bulle = 42°C et Temp. de rosée = 47°C* Alors la surchauffe = 7°C et le sous refroidissement = 5°C		
5	Sur un climatiseur fonctionnant au R407C : ▷ Si la température des vapeurs à la sortie de l'évaporateur = 22°C *avec température de bulle = 0°C et température de rosée = 6°C* ▷ Si la température du liquide à la sortie du condenseur = 35°C *avec Temp. de bulle = 37°C et Temp. de rosée = 42°C* Alors il manque du liquide dans l'évaporateur et dans le condenseur		

CORRIGÉ DE L'EXERCICE — VRAI — FAUX

1 : Faux. L'écart le plus petit étant de 0°C, la surchauffe = 0°C. Cela signifie au contraire que l'évaporateur contient trop de liquide puisque du liquide arrive même à la sortie de cet évaporateur avec de forts risques de coups de liquide destructeurs. - 2 : Vrai. L'écart le plus petit étant de 2°C, le sous refroidissement = 2°C. Cela signifie effectivement qu'il manque du liquide dans le condenseur. - 3 : Vrai, elle diminue dans le condenseur. Notez au passage que c'est l'inverse (elle augmente constamment) dans l'évaporateur. Vous pouvez peut-être vous en rappeler en vous souvenant que le fluide frigorigène se réchauffe dans l'évaporateur mais qu'il se refroidit dans le condenseur. - 4 : Vrai. Il faut toujours prendre en compte l'écart le plus petit (faites toutefois attention à ne pas vous tromper en lisant la réglette) - 5 : Vrai. La surchauffe = 16°C (écart le plus petit) et une surchauffe élevée démontre un manque de liquide dans l'évaporateur. Le sous refroidissement = 2°C (écart le plus petit) et un sous refroidissement aussi faible démontre un manque de liquide dans le condenseur.

Vous trouverez l'analyse complète des pannes frigorifiques des pages 269 à 332 (R22, R407C et R410A) ainsi que 8 dépannages à élucider (R410A) avec leur corrigé des pages 333 à 346.

Vous trouverez également 8 dépannages de synthèses sur une pompe à chaleur air/eau au R407C des pages 602 à 627 ainsi que 7 dépannages complets sur une pompe à chaleur eau/eau utilisant du R407C des pages 649 à 669.

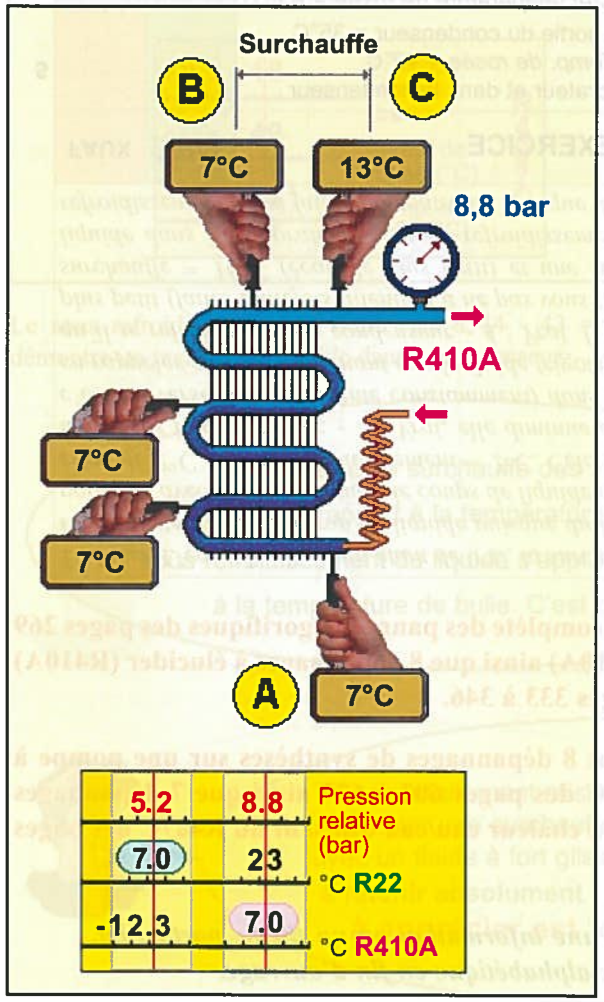
Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

QUELQUES COMPLÉMENTS D'INFORMATION SUR LE R410A

Le 410A, le fluide le plus répandu en clim de confort.

Ce fluide HFC relativement récent, sans effet sur la couche d'ozone, connaît un très vif succès en climatisation et pompes à chaleur réversibles. C'est un mélange de R32 et de R125 (notez au passage que ces 2 fluides interviennent également dans la composition du R407C).

- *Par rapport au R407C,* le premier intérêt du R410A est **un glissement très faible de 0,1°C, c'est-à-dire absolument négligeable.** On peut donc considérer avec ce fluide que la température de rosée et la température de bulle sont identiques (comme avec le R22), ce qui simplifie les raisonnements et limite les risques d'erreurs.
- Par contre, son principal inconvénient est sans conteste **des pressions de fonctionnement beaucoup plus importantes** qu'avec le R407C (ou le R22).



Pour se fixer les idées, observons ce qui se passe dans l'évaporateur.
Avec une température d'évaporation de 7°C (**point A**) la pression avec le R410A est de 8,8 bar

Notez qu'avec la même température d'évaporation de 7°C la pression n'aurait été que de 5,2 bar avec du R22. La pression obtenue avec le R410A est donc très nettement supérieure (près de 70% d'augmentation par rapport au R22).

Grâce à son glissement absolument négligeable de 0,1°C, on peut considérer que la température reste constante à 7°C entre **A** et **B**, point où la dernière molécule de liquide se vaporise

Ensuite, les vapeurs se surchauffent entre **B** et **C** de façon tout à fait classique.

Dans l'exemple ci-contre, la surchauffe est donc de 13 - 7 = **6°C**.

A présent, examinons l'intérieur du condenseur à air :

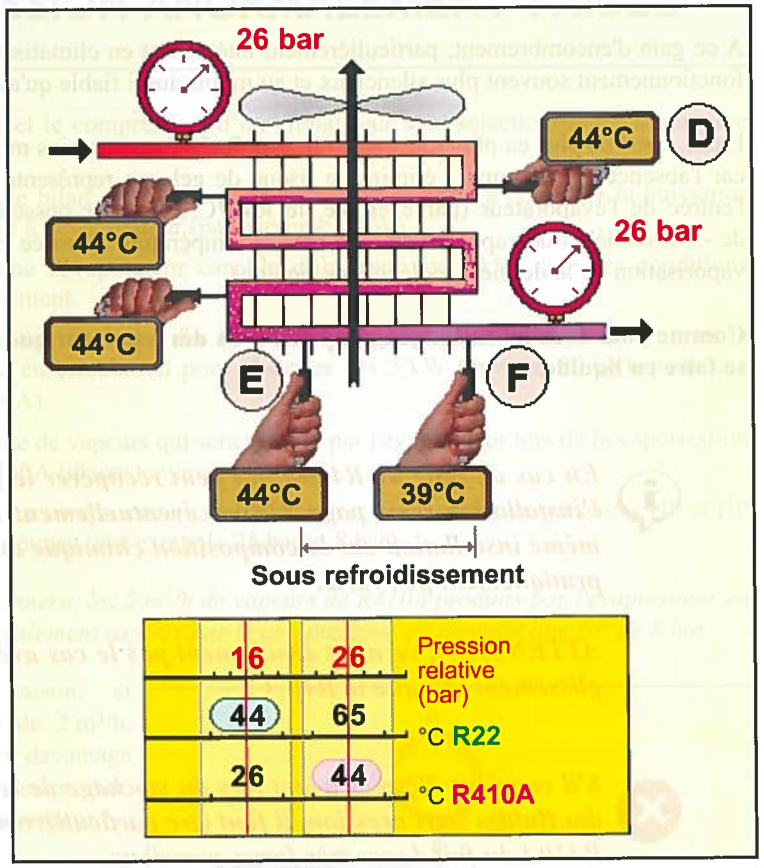
Avec de l'air extérieur à une trentaine de °C, on obtient une température de condensation tout à fait normale de 44°C (**point D**).

Avec du R410A, la pression de condensation obtenue est de **26 bar**.

Au fur et à mesure de leur progression, les vapeurs se condensent à la température constante de **44°C** (le glissement de 0,1°C étant négligeable).

Au moment où la dernière molécule de vapeur se condense (**point E**), le fluide est toujours à **44°C** sous **26 bar**.

Ensuite, le liquide se sous refroidi pour atteindre par exemple 39°C à la sortie du condenseur (**point F**), soit un sous refroidissement de 44 - 39 = 5°C.



Notez qu'avec la même température de condensation de 44°C la pression n'aurait été que de 16 bar avec le R22 : la pression obtenue avec le R410A est une nouvelle fois très nettement supérieure.

Ainsi les pressions de fonctionnement sont toujours supérieures à celles que l'on obtiendrait avec du R22 ou du R407C (ou même avec du R404A, surtout utilisé en froid commercial, dont la pression est de 6,5 bar à 7°C et de 19 bar à 44°C).

Ces très fortes pressions nécessitent sur le chantier l'utilisation de matériels spécifiques adaptés à ce fluide. Nous aurons l'occasion d'en reparler.

Pour limiter les risques de fuites et d'accidents, il est indispensable de soigner tout particulièrement les dudgeons (il est préférable de privilégier les brasures) et de respecter scrupuleusement les recommandations des constructeurs.

Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

Les propriétés thermodynamiques du R410A permettent, à puissance frigorifique égale, d'utiliser un compresseur plus petit d'environ 40%.

A ce gain d'encombrement, particulièrement intéressant en climatisation individuelle, s'ajoute un fonctionnement souvent plus silencieux et au moins aussi fiable qu'avec le R22.

Enfin, il est de plus en plus souvent préféré au R407C sur certains modèles de refroidisseurs d'eau car l'absence de glissement élimine le risque de gel que représente une température négative à l'entrée de l'évaporateur (par exemple, le R407C à 4,1 bar possède une température de bulle de -3°C en début de vaporisation alors que sa température de rosée est de +3°C au moment de la vaporisation de la dernière molécule de liquide).

Comme pour tous les mélanges, rappelez-vous dès à présent que toute charge en fluide doit se faire en liquide.

En cas de fuite de R410A, on peut récupérer le fluide restant dans l'installation (voir page 413) et éventuellement le réutiliser sur la même installation car la composition chimique du fluide restant n'a pratiquement pas varié.

ATTENTION, ce n'est absolument pas le cas avec les fluides à fort glissement tels que le R407C.

S'il convient d'être prudent lors du stockage de récipients contenant des fluides sous pression, il faut être particulièrement attentif avec le R410A du fait de ses très fortes pressions.

Veillez à ce que la température d'une bouteille de R410A ne dépasse jamais 52°C, ce qui pourrait se produire en été dans une fourgonnette stationnée en plein soleil.

Vous trouverez l'analyse complète des pannes frigorifiques des pages 269 à 332 (R22, R407C et R410A) ainsi que 8 dépannages à élucider (R410A) avec leur corrigé des pages 333 à 346.

Vous trouverez également 8 dépannages de synthèses sur une pompe à chaleur air/eau au R407C des pages 602 à 627 ainsi que 7 dépannages complets sur une pompe à chaleur eau/eau utilisant du R407C des pages 649 à 669.

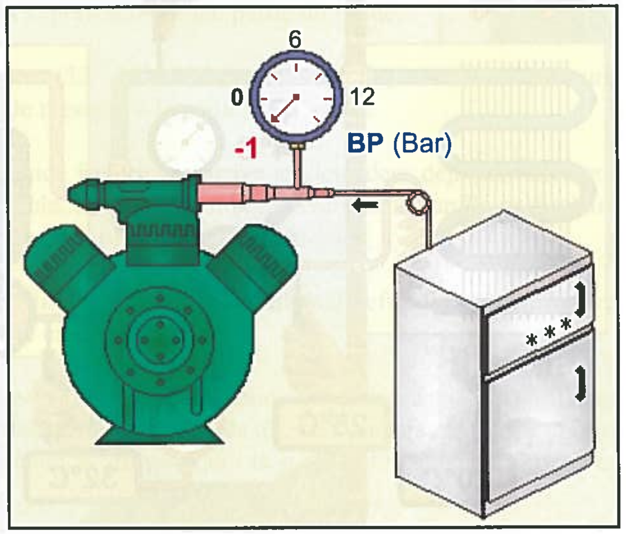
BASSE PRESSION ANORMALEMENT FAIBLE

En simplifiant, l'évaporateur et le compresseur d'un climatiseur sont sélectionnés de la manière suivante :

- D'abord, on effectue le bilan thermique de l'installation de sorte à connaître la puissance frigorifique nécessaire à l'évaporateur (par exemple 5 kW).
- Ensuite, on sélectionne l'évaporateur capable d'absorber ces 5 kW, dans les conditions désirées de fonctionnement.
- Puis, les tables thermodynamiques des fluides frigorigènes permettent de déterminer le débit masse à mettre en circulation pour absorber ces 5 kW (environ 80 kg/h pour une climatisation au R410A).
- On en déduit le volume de vapeurs qui sera produit par l'évaporateur lors de la vaporisation de ces 80 kg/h de R410A (disons environ 2 m^3/h)
- Enfin on sélectionne un compresseur capable d'aspirer ces 2 m^3/h aux pressions HP et BP de fonctionnement prévues (par exemple 25 bar et 8 bar)

Lorsque l'installation fonctionnera, les 2 m^3/h de vapeurs de R410A produits par l'évaporateur en absorbant 5 kW seront intégralement aspirés par le compresseur en donnant une BP de 8 bar.

Quelle qu'en soit la raison, si l'évaporateur produit moins de 2 m^3/h, le compresseur voudra aspirer davantage de vapeurs que l'évaporateur n'en produit, et la **BP diminuera obligatoirement !**



Pour mieux comprendre, imaginez la BP qu'on obtiendrait si on raccordait un énorme compresseur sur l'évaporateur d'un petit réfrigérateur ménager !

Une BP trop faible indique obligatoirement que le compresseur aspire davantage de vapeurs que l'évaporateur n'en produit.

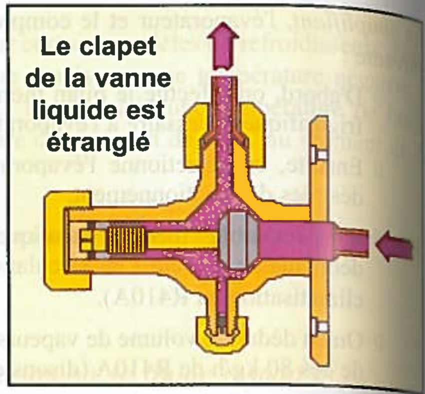
Pour rappel, la surchauffe permet d'apprécier le remplissage en fluide de l'évaporateur, comme si on voyait au travers des tubes. De la même manière, le sous refroidissement permet de " voir " le niveau de liquide dans le condenseur. **Quant à la BP, elle permet d'apprécier la capacité du compresseur à aspirer les vapeurs produites par la vaporisation du liquide dans l'évaporateur.**

Notez également qu'on appelle " pannes BP " toutes les pannes provoquant une BP trop faible. A l'inverse, on appelle " pannes HP " toutes celles entraînant une HP trop haute.

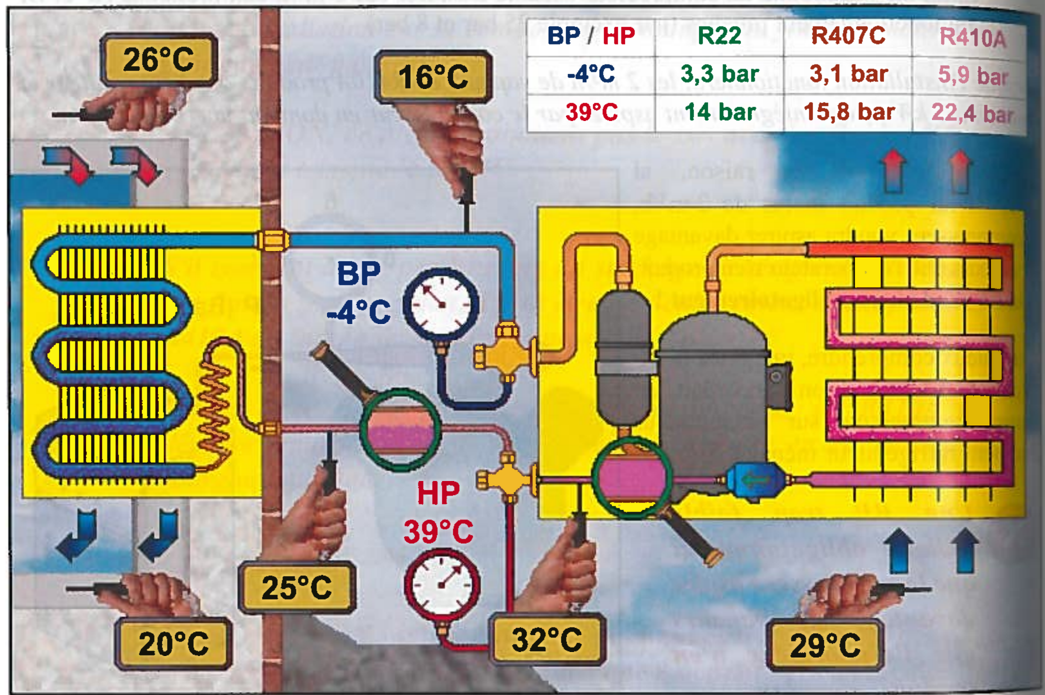
LA PANNE DE LA PRÉDÉTENTE

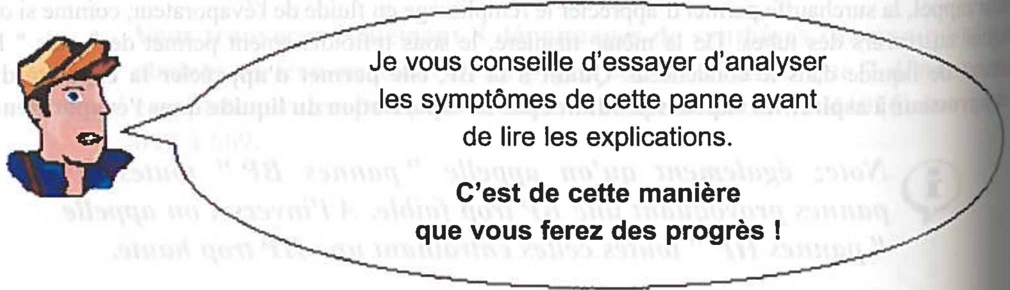
Analyse de la panne.

Pour analyser les symptômes de cette panne BP (c'est-à-dire avec une BP trop faible), nous allons supposer que l'installateur à *simplement entrouvert la vanne de départ liquide* (comme représenté ci-contre) au lieu de l'ouvrir complètement.



Vous trouverez ci-dessous un exemple de différentes mesures effectuées avec cette panne.





	Fonctionnement normal *(voir page 174)*	Grandeurs mesurées	Conclusion
BP	$T_0 = T_{ambiante} - \Delta T_{Total}$ $T_0 = 26 - 18 \approx 8°C$	**T_0 = - 4°C**	**BP trop faible**
HP	$T_K = T_{extérieure} + \Delta T_{Total}$ $T_K = 29 + 16 \approx 45°C$	T_K = 39°C	HP un peu faible
SC (surchauffe)	$SC = T_{aspiration} - T_0$ SC ≈ 5 à 10°C	$SC = T_{aspiration} - T_0$ **SC = 16 – (-4) = 20°C**	**Surchauffe trop élevée**
SR (sous refroid.)	$SR = T_K - T_{liquide}$ SR ≈ 4 à 7°C	$SR = T_K - T_{liquide}$ **SR = 39 – 32 = 7°C**	**Sous refroid. correct**
ΔT_{LL}	$\Delta T_{LL} < 1°C$	$\Delta T_{LL} = 32 - 25$ **$\Delta T_{LL} = 7°C$**	**ΔT anormal sur la ligne liquide**
$\Delta T_{air\ évapo}$	$\Delta T_{air\ évapo} \approx 8$ à 10°C en grande vitesse	$\Delta T_{air\ évapo} = 26 - 20$ $\Delta T_{air\ évapo} = 6°C$	ΔT sur l'air à l'évaporateur faible

Prédétente : explication des symptômes.

ΔT anormal sur la ligne liquide. La vanne départ liquide étant étranglée, sa résistance au passage du fluide devient anormalement importante. Elle se comporte alors comme *un mini-détendeur* qui provoque une chute de pression et donc la vaporisation d'une partie du fluide.

C'est pourquoi on trouve *cet écart important* (32 - 25 = 7°C dans l'exemple) entre la température du liquide à la sortie du condenseur et celle mesurée à la sortie de la vanne.

Manque de puissance frigorifique. Le fluide frigorigène arrive au détendeur déjà partiellement vaporisé et avec une pression bien trop faible. Le débit de fluide traversant le capillaire diminue donc fortement et l'évaporateur est alors très mal alimenté en liquide.

C'est pourquoi la puissance frigorifique diminue. Le local étant mal refroidi, la température ambiante augmente et le client vous appelle en dépannage.

Surchauffe trop élevée. Comme il y a beaucoup moins de liquide qui arrive dans l'évaporateur, celui-ci est mal rempli et la dernière gouttelette se vaporise très tôt. Les vapeurs restent donc plus longtemps en contact avec de l'air plus chaud. C'est pourquoi la surchauffe augmente fortement (en cas de besoin, voir *page 249*).

BP trop faible. Le compresseur tente d'aspirer une quantité de vapeurs bien supérieure à celle produite dans l'évaporateur. C'est pourquoi la BP, et donc la température d'évaporation, diminuent fortement (en cas de besoin, voir *page 269*).

Sous refroidissement correct. Le condenseur recevant moins de puissance frigorifique à évacuer, il devient surpuissant. Le fluide est alors bien mieux refroidi et la pression de condensation diminue. De plus, comme il y a moins de fluide dans l'évaporateur, il y en a forcément davantage dans le bas du condenseur. Celui-ci étant surpuissant et contenant davantage de liquide, le sous refroidissement est donc très correct (en cas de besoin, voir *page 251*).

Remarque : sur un climatiseur en fonctionnement normal, la température d'évaporation est toujours légèrement supérieure à 0°C.



Puisque la panne de la prédétente provoque une diminution de la BP, la température d'évaporation devient inférieure à 0°C et les condensats qui ruissellent sur les tubes et les ailettes ont tendance à givrer. A ce moment le givre, qui est un excellent isolant thermique, diminue l'échange de chaleur entre le fluide frigorigène et l'air. Au fur et à mesure, le givre progresse sur l'évaporateur et risque même parfois de l'obstruer complètement.

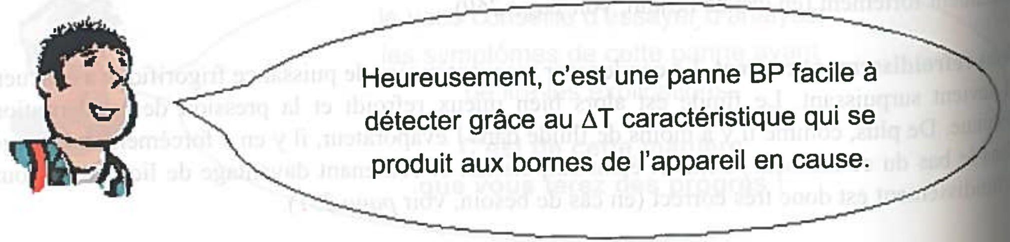
Vous serez alors en présence de deux pannes simultanées : la panne de la prédétente et la panne de l'évaporateur trop petit (qui sera étudiée *page 289*).

Pour éviter de partir sur une fausse piste, laissez toujours l'évaporateur dégivrer complètement avant d'établir votre diagnostic.

Symptômes caractéristiques de la panne de la prédétente.

- **La BP est trop faible.** Ce symptôme indique que le compresseur aspire davantage de vapeurs que l'évaporateur n'en produit. *Pour trouver la panne, il faut trouver pourquoi l'évaporateur ne produit pas suffisamment de vapeurs.*
- **La surchauffe est trop élevée.** Ce symptôme indique qu'il manque du liquide dans l'évaporateur (s'il n'y a pas assez de liquide, l'évaporateur ne produit pas assez de vapeurs, ce qui explique le symptôme précédent). *Mais alors, pourquoi manque-t-il du liquide dans l'évaporateur ?*
- **Le sous refroidissement est correct.** Ce symptôme indique qu'il y a suffisamment de liquide dans le condenseur. *Puisqu'il y a du liquide dans le condenseur, pourquoi ce liquide n'arrive-t-il pas dans l'évaporateur ?*
- **Il y a un écart de température anormal sur la ligne liquide.** Ce symptôme indique à coup sûr qu'une obstruction quelconque s'oppose au passage du liquide, *ce qui provoque une prédétente* (et donc une chute de température) caractéristique sur la ligne liquide.

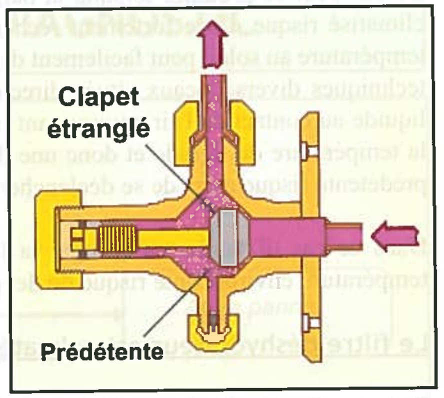
Nous avons maintenant la réponse à la question précédente : **le liquide qui se trouve dans le condenseur ne peut pas arriver normalement dans l'évaporateur à cause d'une obstruction dans la ligne liquide qui gêne sa libre circulation !**



Panne de la prédétente : quelques exemples.

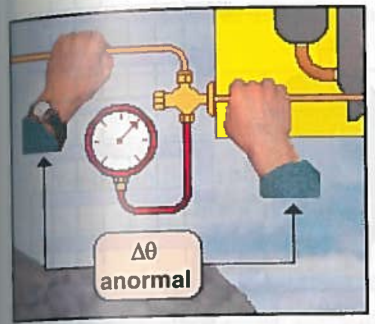
La vanne liquide est étranglée :

Cette panne BP provient le plus souvent d'une erreur de manipulation commise à la mise en route de l'appareil.



L'installateur a entrouvert la vanne liquide pour effectuer une chasse (voir *page 234*) mais ensuite, il a oublié de la positionner complètement en siège arrière afin de l'ouvrir à fond. Le clapet de la vanne étrangle donc le passage du fluide, ce qui crée une prédétente parasite.

On obtient alors tous les symptômes dque nous venons de détailler.



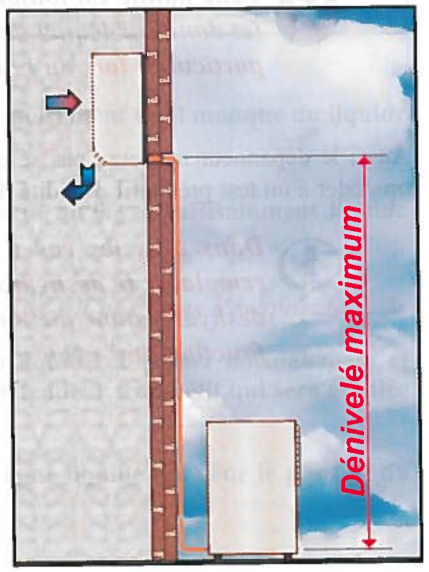
La température du tube à la sortie de la vanne devient anormalement fraîche par rapport à la température de condensation, donnant l'illusion que le sous refroidissement est incroyablement élevé, *ce qui est absolument impossible avec une panne BP.*

Un ΔT existe alors entre l'entrée et la sortie de la vanne, ce qui est caractéristique de cette panne.

Un simple toucher des tuyauteries permet facilement de confirmer l'hypothèse.

Le dénivelé maximum n'a pas été respecté :

Nous avons déjà évoqué cette panne provoquée par le non-respect des prescriptions du fabricant *page 218*.



Pour rappel, quand l'évaporateur est situé au-dessus du groupe de condensation, la pression du liquide diminue au fur et à mesure qu'il monte dans la tuyauterie liquide.

Si la pression chute en dessous de la relation pression température correspondant à la température du liquide, le phénomène de prédétente commence.

Pour ne pas avoir ce type de mésaventure, il est impératif de respecter le dénivelé maximum indiqué dans la notice de montage.

Si les contraintes d'installation vous obligent à monter plus haut, renseignez-vous auparavant auprès de votre fournisseur afin de trouver une solution sans risquer de perdre le bénéfice de la garantie.

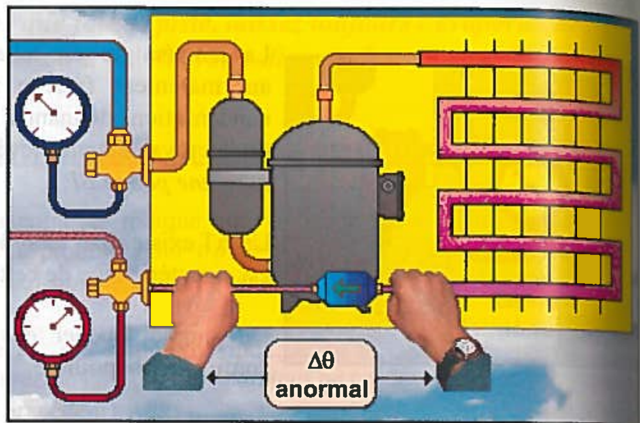
La ligne liquide traverse un endroit très chaud :

Ce cas peut se produire lorsque la partie de la ligne liquide qui se trouve à l'extérieur du local climatisé risque d'être fortement réchauffée, soit directement par des rayonnements solaires (la température au soleil peut facilement dépasser 50°C), soit en traversant un local très chaud (locaux techniques divers, locaux situés directement sous les toits, etc.). Cet échauffement de la ligne liquide au contact de l'air environnant peut alors provoquer une augmentation non négligeable de la température du liquide et donc une diminution de son sous-refroidissement. Le phénomène de prédétente risque alors de se déclencher.

Dans ce cas, il faudra calorifuger la ligne liquide sur toutes les parties de l'installation où la température environnante risque de devenir excessive à un moment ou à un autre de l'année.

Le filtre déshydrateur est colmaté :

Sur un climatiseur de confort ce type de problème est peu fréquent car le circuit a été réalisé en usine.



Dans le cas de raccordements réalisés sur le chantier, il s'agit le plus souvent d'une obstruction du filtre très fin placé en sortie du déshydrateur provoquée par une accumulation d'impuretés (matière déshydratante, copeaux divers, grains de brasure ou de décapant, etc.).

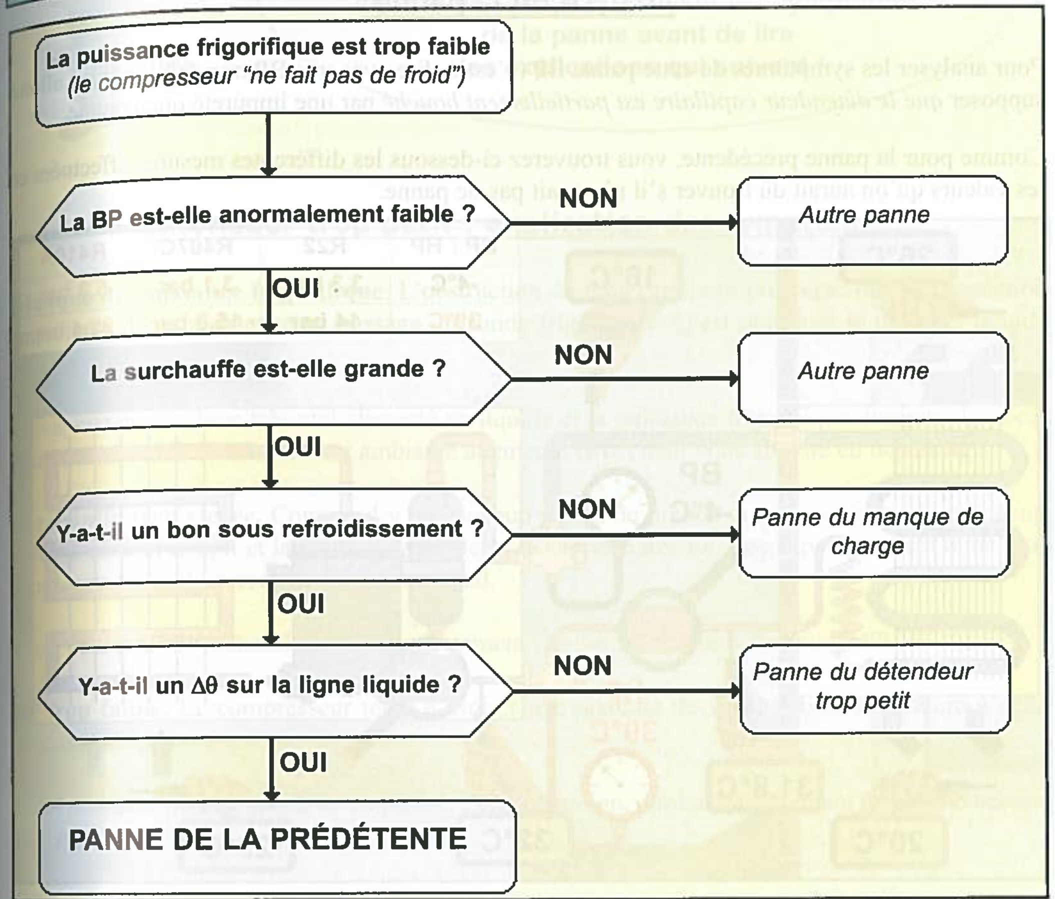
La panne se détecte facilement grâce à la différence de température caractéristique qu'on observe alors entre l'entrée et la sortie du filtre.

Cette panne est toujours l'indice d'un circuit frigorifique très pollué (et donc sur lequel de nombreuses maladresses ont été commises, en particulier lors du montage ou d'interventions successives).

Aussi le dépanneur ne devra pas se contenter de remplacer le déshydrateur, mais il devra aussi procéder à un test préventif d'acidité de l'huile du compresseur.

Dans tous les cas il sera préférable, par mesure de sécurité, de remplacer le déshydrateur colmaté par un modèle d'une capacité de déshydratation au moins équivalente mais possédant en plus une fonction anti-acides.

PANNE DE LA PRÉ-DÉTENTE : MÉTHODOLOGIE DU DIAGNOSTIC



Si la BP est faible et si la surchauffe est élevée, c'est obligatoirement qu'il manque du liquide dans l'évaporateur.

Si le sous refroidissement est correct, c'est obligatoirement qu'il y a suffisamment liquide dans le condenseur.

S'il y a du liquide dans le condenseur, pourquoi n'arrive-t-il pas dans l'évaporateur ?

- **Soit c'est le détendeur qui ne permet pas au liquide de passer normalement et nous sommes alors confrontés à la panne du détendeur trop petit qui sera étudiée dans le chapitre suivant.**
- **Soit il y a une obstruction quelconque sur la ligne liquide qui gêne le passage du liquide (et dans ce cas il y a une pré-détente).**

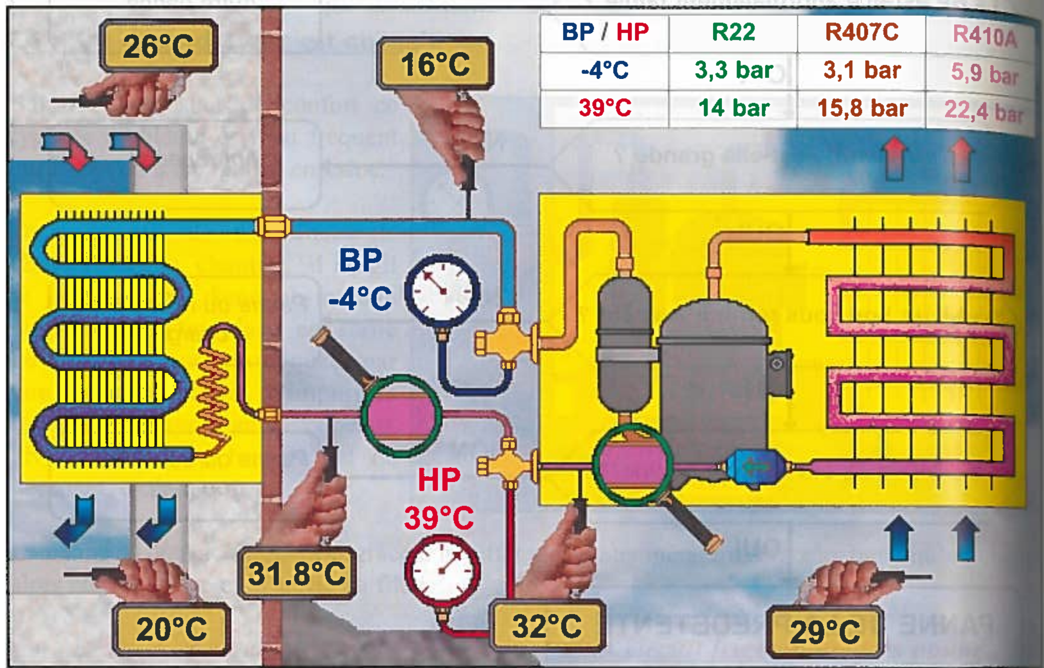
Dépannage

LA PANNE DU DÉTENDEUR TROP PETIT

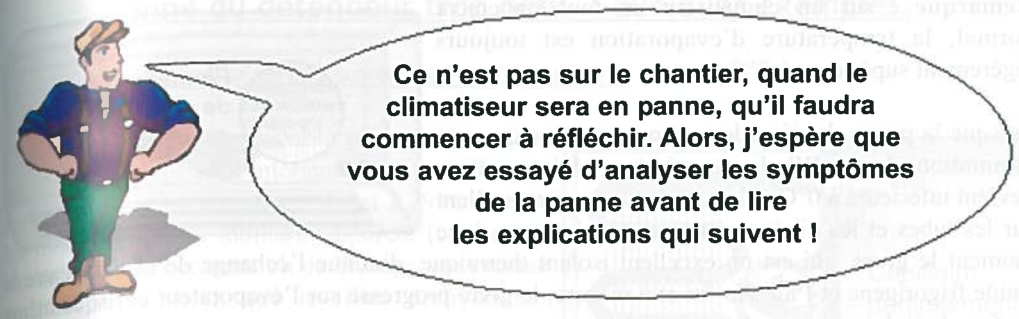
Analyse de la panne.

Pour analyser les symptômes de cette panne BP (c'est-à-dire avec une BP trop faible), nous allons supposer *que le détendeur capillaire est partiellement bouché* par une impureté quelconque.

Comme pour la panne précédente, vous trouverez ci-dessous les différentes mesures effectuées et les valeurs qu'on aurait dû trouver s'il n'y avait pas de panne.



	Fonctionnement normal *(voir page 274)*	Grandeurs mesurées	Conclusion
BP	$T_0 = T_{ambiante} - \Delta T_{Total}$ $T_0 = 26 - 18 \approx 8°C$	$\mathbf{T_0 = -4°C}$	**BP trop faible**
HP	$T_K = T_{extérieure} + \Delta T_{Total}$ $T_K = 29 + 16 \approx 45°C$	$T_K = 39°C$	HP un peu faible
SC (surchauffe)	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $SC \approx 5$ à $10°C$	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $\mathbf{SC = 16 - (-4) = 20°C}$	**Surchauffe trop élevée**
SR (sous refroid.)	$SR = T_K - T_{liquide}$ $SR \approx 4$ à $7°C$	$SR = T_K - T_{liquide}$ $\mathbf{SR = 39 - 32 = 7°C}$	**Sous refroid. correct**
ΔT_{LL}	$\Delta T_{LL} < 1°C$	$\Delta T_{LL} = 32 - 31{,}8$ $\mathbf{\Delta T_{LL} = 0{,}2°C}$	**Pas de ΔT anormal sur la ligne liquide**
$\Delta T_{air\ évapo}$	$\Delta T_{air\ évapo} \approx 8$ à $10°C$ en grande vitesse	$\Delta T_{air\ évapo} = 26 - 20$ $\Delta T_{air\ évapo} = 6°C$	ΔT sur l'air à l'évaporateur faible



Détendeur trop petit : explication des symptômes.

Manque de puissance frigorifique. L'obstruction du tube capillaire provoque une augmentation importante de sa résistance au passage du fluide frigorigène. C'est pourquoi le débit de liquide diminue fortement.

L'évaporateur est donc très mal alimenté en liquide et la puissance frigorifique diminue. Le local étant mal refroidi, la température ambiante augmente et le client vous appelle en dépannage.

Surchauffe trop élevée. Comme il y a beaucoup moins de liquide qui arrive dans l'évaporateur, celui-ci est mal rempli et la dernière gouttelette se vaporise très tôt. Les vapeurs restent donc plus longtemps en contact avec de l'air plus chaud.

C'est pourquoi la surchauffe augmente fortement (en cas de besoin, voir *page 249*).

BP trop faible. Le compresseur tente d'aspirer une quantité de vapeurs bien supérieure à celle produite dans l'évaporateur.

C'est pourquoi la BP, et donc la température d'évaporation, diminuent fortement (en cas de besoin, voir *page 269*).

Sous refroidissement correct. Le condenseur recevant moins de puissance frigorifique à évacuer, il devient surpuissant. Le fluide est alors bien mieux refroidi et la pression de condensation diminue. De plus, comme il y a moins de fluide dans l'évaporateur, il y en a forcément davantage dans le bas du condenseur.

Le condenseur étant surpuissant et contenant davantage de liquide, le sous refroidissement est donc très correct (en cas de besoin, voir *page 251*).

Pas de ΔT anormal sur la ligne liquide. Les symptômes de la panne du détendeur trop petit sont rigoureusement les mêmes que ceux de la panne de la prédétente étudiée *page 270*.

Le ΔT anormal sur la ligne liquide est le seul paramètre qui différencie la panne du détendeur trop petit de la panne de la prédétente : alors, soyez <u>très</u> <u>vigilant</u> et faites bien attention à ne pas confondre ces 2 pannes.

Remarque : sur un climatiseur en fonctionnement normal, la température d'évaporation est toujours légèrement supérieure à 0°C.



Puisque la panne du détendeur trop petit provoque une diminution de la BP, la température d'évaporation devient inférieure à 0°C et les condensats qui ruissellent sur les tubes et les ailettes ont tendance à givrer. A ce moment le givre, qui est un excellent isolant thermique, diminue l'échange de chaleur entre le fluide frigorigène et l'air. Au fur et à mesure, le givre progresse sur l'évaporateur et risque même parfois de l'obstruer complètement.

Vous serez alors en présence de deux pannes simultanées : la panne du détendeur trop petit et la panne de l'évaporateur trop petit (qui sera étudiée *page 289*).

Pour éviter de partir sur une fausse piste, laissez toujours l'évaporateur dégivrer complètement avant d'établir votre diagnostic.

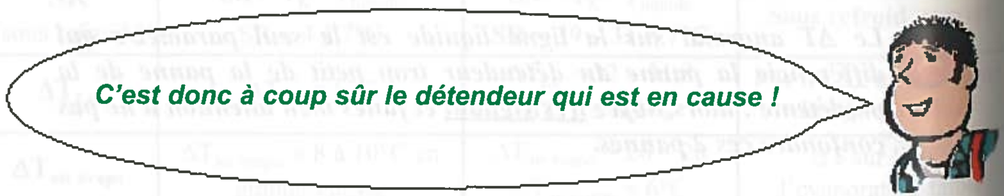
Symptômes caractéristiques de la panne du détendeur trop petit.

- **La BP est trop faible.** Ce symptôme indique que le compresseur aspire davantage de vapeurs que l'évaporateur n'en produit. *Pour trouver la panne, il faut trouver pourquoi l'évaporateur ne produit pas suffisamment de vapeurs.*

- **La surchauffe est trop élevée.** Ce symptôme indique qu'il manque du liquide dans l'évaporateur (s'il n'y a pas assez de liquide, l'évaporateur ne produit pas assez de vapeurs, ce qui explique le symptôme précédent). *Mais alors, pourquoi manque-t-il du liquide dans l'évaporateur ?*

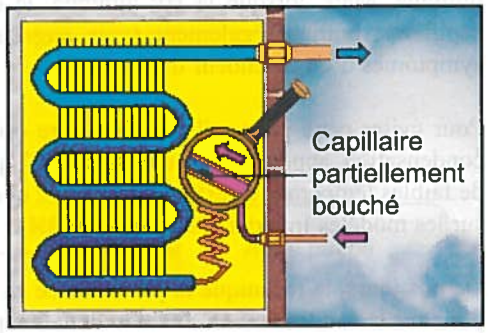
- **Le sous refroidissement est correct.** Ce symptôme indique qu'il y a suffisamment de liquide dans le condenseur. *Puisqu'il y a du liquide dans le condenseur, pourquoi ce liquide n'arrive-t-il pas dans l'évaporateur ?*
  - *Soit il y a une obstruction sur la ligne liquide qui empêche la libre circulation du liquide (et alors il y a un ΔT comme nous venons de le voir dans le chapitre précédent avec la panne de la prédétente).*
  - *Soit le détendeur est trop petit et il ne laisse pas passer assez de liquide.*

- **Il n'y a pas d'écart de température anormal sur la ligne liquide. Ce symptôme nous permet de trancher sans hésitation entre les 2 hypothèses précédentes. Puisqu'il n'y a pas de ΔT, aucune obstruction ne gêne la libre circulation du fluide frigorigène dans la ligne liquide.**



Panne du détendeur trop petit : quelques exemples.

Le détendeur capillaire est partiellement bouché :



C'est la panne la plus probable pour un détendeur capillaire. Son diamètre intérieur est si petit (la plupart du temps compris entre 0,66 et 2,29 mm selon les modèles) que la moindre impureté (copeau de cuivre, grain de décapant ou de brasure, etc.) risque de l'obstruer. Notez que le filtre déshydrateur installé en amont du détendeur a également pour rôle de le protéger.

Pour conforter votre diagnostic, si vous avez pu monter les 2 manos HP et BP, arrêtez le compresseur. Les pressions doivent s'égaliser rapidement. Si le capillaire est complètement bouché, l'égalisation des pressions à l'arrêt ne se fait plus. Si l'obstruction est partielle, l'égalisation est d'autant plus longue que le colmatage est important.

Il faudra alors remplacer le capillaire (voir *page 156*).

Le tube capillaire est partiellement écrasé :

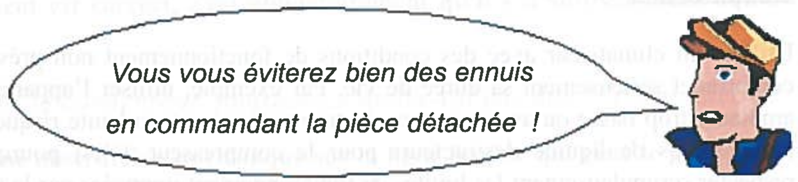
Quelles qu'en soient les raisons, il peut arriver que le capillaire soit partiellement écrasé. Cette panne plutôt rare, en réduisant encore la section de passage du fluide, entraîne généralement à court terme la panne précédente.

Le tube capillaire est mal dimensionné :

C'est le genre de panne qui risque d'arriver si vous tentez de fabriquer vous-même un détendeur capillaire (voir *page 153*).

La fabrication d'un capillaire étalon par le fabricant du climatiseur a été une opération longue et très délicate qui a tenu compte des différentes conditions de fonctionnement du climatiseur en température et en humidité, du type de fluide frigorigène, de la puissance frigorifique désirée, des variations possibles de la HP et de la BP, du diamètre intérieur du capillaire, etc.

Alors, n'espérez pas en " bidouillant " sur le chantier obtenir les mêmes résultats que le fabricant de l'appareil !



Si vous disposez d'un capillaire d'origine fourni par le constructeur de l'appareil défectueux et correspondant exactement au modèle du capillaire endommagé, son remplacement sera relativement simple à réaliser. *Toutefois, relevez toujours très soigneusement les références de l'appareil.* En effet, s'il est très improbable que le constructeur commette une erreur de sélection ou de montage, une erreur de commande de pièce détachée est beaucoup plus fréquente.

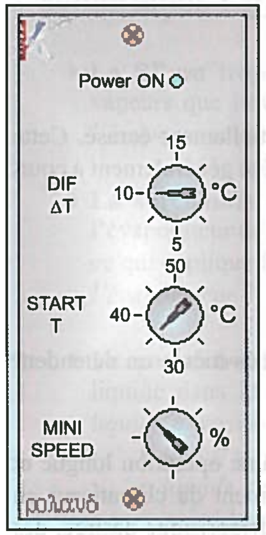
La HP est trop faible :

Il est parfois nécessaire de climatiser un local même par temps froid (salle informatique, laboratoire, etc). Dans ce cas, la température extérieure étant faible, la pression de condensation diminue. Mais, lorsque la HP diminue, le débit de fluide frigorigène injecté par le détendeur capillaire diminue également (voir *page 155*). A ce moment, l'installation donne tous les symptômes d'un détendeur trop petit.

Pour éviter cette panne, il est nécessaire d'installer un système de régulation de la pression de condensation, appelé " kit toutes saisons ", qui permet de conserver une HP raisonnable même par de faibles températures extérieures. Notez que cette régulation est généralement intégrée d'origine sur les modèles Inverter (voir *page 389*).

De nos jours, la technique la plus utilisée en climatisation de confort consiste à modifier le débit d'air sur le condenseur en fonction de la température de condensation :

- Si la HP monte, le ventilateur tourne à pleine vitesse et le condenseur donne alors sa puissance maximum.
- Si la HP diminue, la vitesse du ventilateur est réduite, ce qui diminue la puissance du condenseur et limite la chute de la HP.



La sonde de température du régulateur est généralement fixée sur une crosse vers le milieu du condenseur. Sur la plupart de ces régulateurs, on trouve les réglages suivants :

- Un potentiomètre " START " qui permet de régler la température à laquelle le ventilateur commence à tourner.
- Un potentiomètre " DIF " qui permet de régler le différentiel de température nécessaire pour atteindre la vitesse nominale (100%).
- Un potentiomètre " MINI SPEED " qui permet de régler la vitesse minimum du moteur (en dessous d'une certaine vitesse, le moteur risque de caler).

Dans notre exemple, le ventilateur commence à tourner à sa vitesse minimum pour une température de condensation " T " de 35°C et il atteint sa vitesse maximum à 35 + 10 = 45°C.

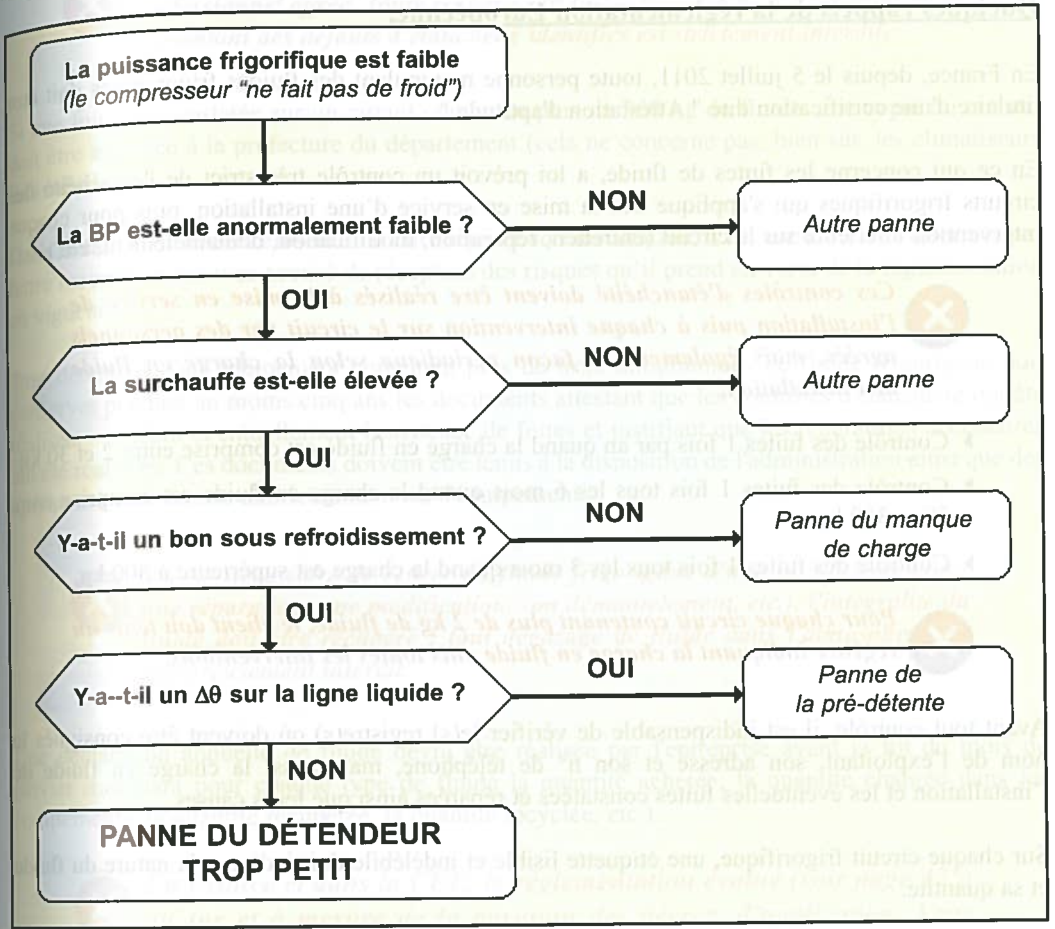
Le schéma de câblage et les instructions de réglage sont jointes au kit.

Remarques :

Utiliser un climatiseur avec des conditions de fonctionnement non prévues par le constructeur compromet sérieusement sa durée de vie. Par exemple, utiliser l'appareil avec une température ambiante trop basse ou avec une température extérieure trop haute risque de provoquer de nombreux coups de liquide destructeurs pour le compresseur. C'est pourquoi il est impératif de respecter scrupuleusement les limites de fonctionnement imposées par le constructeur.

Dépannage

PANNE DU DÉTENDEUR TROP PETIT MÉTHODOLOGIE DU DIAGNOSTIC



Si la BP est faible et si la surchauffe est élevée, c'est obligatoirement qu'il manque du liquide dans l'évaporateur.

Si le sous refroidissement est correct, c'est obligatoirement qu'il y a suffisamment liquide dans le condenseur.

S'il y a du liquide dans le condenseur, pourquoi n'arrive-t-il pas dans l'évaporateur ?

- **Soit il y a une obstruction quelconque sur la ligne liquide qui gêne le passage du liquide (et dans ce cas il y a une pré-détente).**
- **Soit c'est le détendeur qui ne permet pas au liquide de passer normalement et nous sommes alors confronté à la panne du détendeur trop petit.**

Dépannage

PROBLÈME DES FUITES DE FLUIDE FRIGORIGÈNE

Quelques rappels de la réglementation Européenne.

En France, depuis le 5 juillet 2011, toute personne manipulant des fluides frigorigènes doit être titulaire d'une certification dite " Attestation d'aptitude ".

En ce qui concerne les fuites de fluide, a loi prévoit un contrôle très strict de l'étanchéité des circuits frigorifiques qui s'applique dès la mise en service d'une installation, puis pour chaque intervention ultérieure sur le circuit (entretien, réparation, modification, démantèlement, etc.).

Ces contrôles d'étanchéité doivent être réalisés à la mise en service de l'installation puis à chaque intervention sur le circuit par des personnels agréés, mais également de façon périodique selon la charge en fluide de l'installation.

- Contrôle des fuites 1 fois par an quand la charge en fluide est comprise entre 2 et 30 kg.
- Contrôle des fuites 1 fois tous les 6 mois quand la charge en fluide est comprise entre 30 et 300 kg.
- Contrôle des fuites 1 fois tous les 3 mois quand la charge est supérieure à 300 kg.

Pour chaque circuit contenant plus de 2 kg de fluide, le client doit tenir un registre indiquant la charge en fluide puis toutes les interventions.

Avant tout contrôle, il est indispensable de vérifier le(s) registre(s) où doivent être consignés le nom de l'exploitant, son adresse et son n° de téléphone, mais aussi la charge en fluide de l'installation et les éventuelles fuites constatées et réparées ainsi que leurs causes.

Sur chaque circuit frigorifique, une étiquette lisible et indélébile doit indiquer la nature du fluide et sa quantité.

La recherche des fuites doit être effectuée en déplaçant un détecteur manuel d'une sensibilité minimum de 5 grammes par an, sur tous les points sensibles de l'installation.

Certaines parties de l'installation doivent être contrôlées avec le plus grand soin comme les vannes et leur capuchon, les brasures, les joints d'étanchéité, les divers accessoires et toutes les parties soumises à des vibrations.

Si l'équipement se trouve dans un espace confiné, l'étanchéité peut être vérifiée par un contrôleur d'ambiance d'une sensibilité minimum de 5 grammes par an, adapté au fluide frigorigène contenu dans le circuit et relié à une alarme.

Les différentes sondes du contrôleur, d'une sensibilité minimum de 10 ppm (10 parties par million = 10 mg/kg), doivent être installées aux points d'accumulation potentiels du fluide dans le local et éventuellement dans la gaine de ventilation. La sensibilité du système doit être vérifiée tous les 12 mois afin de contrôler que l'étalonnage ne dérive pas de plus de 10%.

Si des fuites de fluides frigorigènes sont constatées, l'opérateur responsable du contrôle doit en dresser le constat par un document qu'il remet au détenteur de l'équipement, lequel doit prendre toutes les mesures pour remédier à la fuite qui a été constatée.

Dès qu'une fuite est détectée, il y a obligation de réparation rapide par un professionnel agréé. Toute recharge en fluide frigorigène d'une installation présentant des défauts d'étanchéité identifiés est strictement interdite.

Si une fuite est constatée sur un circuit contenant plus de 300 kg de fluide, une copie du constat doit être adressée à la préfecture du département (cela ne concerne pas, bien sûr, les climatiseurs individuels).

Dans le cas où un client refuserait de faire réparer son installation, il est conseillé de l'informer par lettre recommandée avec accusé de réception des risques qu'il prend en vertu de la réglementation en vigueur.

Tout détenteur d'un équipement contenant plus de trois kilogrammes de fluide frigorigène doit conserver pendant au moins cinq ans les documents attestant que les contrôles d'étanchéité ont été réalisés, signalant éventuellement l'existence de fuites et justifiant que les réparations nécessaires ont été réalisées. Ces documents doivent être tenus à la disposition de l'administration ainsi que des opérateurs intervenant ultérieurement sur l'équipement.

S'il est nécessaire de retirer du fluide frigorigène d'une installation (pour une réparation, une modification, son démantèlement, etc.), l'intégralité du fluide doit être récupéré : tout dégazage de fluide dans l'atmosphère est rigoureusement interdit.

Une déclaration annuelle de fluide devra être réalisée par l'entreprise avant la fin du mois de janvier indiquant pour chaque type de fluide la quantité achetée, la quantité chargée dans les équipements, la quantité récupérée, la quantité recyclée, etc.).

En France et dans la CEE, la réglementation évolue (voir page 425). Vous au fur et à mesure de la parution des décrets d'application. Vous éviterez les mauvaises surprises en vous tenant informé auprès de la presse professionnelle, de votre syndicat et/ou de votre fournisseur de fluides frigorigènes.

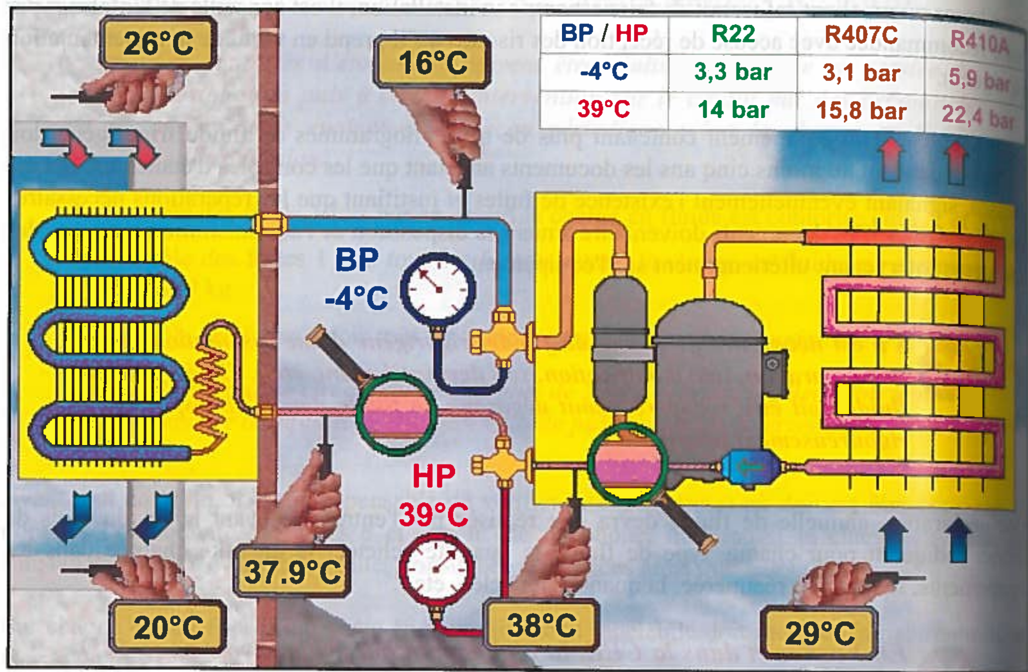
Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

LA PANNE DU MANQUE DE FLUIDE

Analyse de la panne.

Pour analyser les symptômes de cette panne BP (donc avec une BP trop faible), nous allons supposer *qu'il y a une fuite sur un raccord* et donc qu'il manque du fluide dans l'installation.

Comme pour les pannes précédentes, vous trouverez ci-dessous les différentes mesures effectuées et les valeurs qu'on aurait dû trouver s'il n'y avait pas de panne.



	Fonctionnement normal *(voir page 271)*	Grandeurs mesurées	Conclusion
BP	$T_0 = T_{ambiante} - \Delta T_{Total}$ $T_0 = 26 - 18 \approx 8°C$	$\mathbf{T_0 = -4°C}$	**BP trop faible**
HP	$T_K = T_{extérieure} + \Delta T_{Total}$ $T_K = 29 + 16 \approx 45°C$	$T_K = 39°C$	HP un peu faible
SC (surchauffe)	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $SC \approx 5$ à $10°C$	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $\mathbf{SC = 16 - (-4) = 20°C}$	**Surchauffe trop élevée**
SR (sous refroid.)	$SR = T_K - T_{liquide}$ $SR \approx 4$ à $7°C$	$SR = T_K - T_{liquide}$ $\mathbf{SR = 39 - 38 = 1°C}$	**Sous refroid. trop faible**
ΔT_{LL}	$\Delta T_{LL} < 1°C$	$\Delta T_{LL} = 38 - 37{,}9$ $\mathbf{\Delta T_{LL} = 0{,}1°C}$	Pas de ΔT anormal sur la ligne liquide
$\Delta T_{air\ évapo}$	$\Delta T_{air\ évapo} \approx 8$ à $10°C$ en grande vitesse	$\Delta T_{air\ évapo} = 26 - 20$ $\Delta T_{air\ évapo} = 6°C$	ΔT sur l'air à l'évaporateur faible

Manque de Fluide : explication des symptômes.

Manque de puissance frigorifique. Comme il manque du fluide dans toute l'installation, il en manque fatalement dans l'évaporateur. C'est pourquoi la puissance frigorifique diminue. Le local étant mal refroidi, la température ambiante augmente et le client vous appelle en dépannage.

Surchauffe trop élevée. Comme il y a peu de liquide dans l'évaporateur, celui-ci est mal rempli et la dernière gouttelette se vaporise très tôt. Les vapeurs restent donc plus longtemps en contact avec de l'air plus chaud. C'est pourquoi la surchauffe augmente fortement (voir *page 249*).

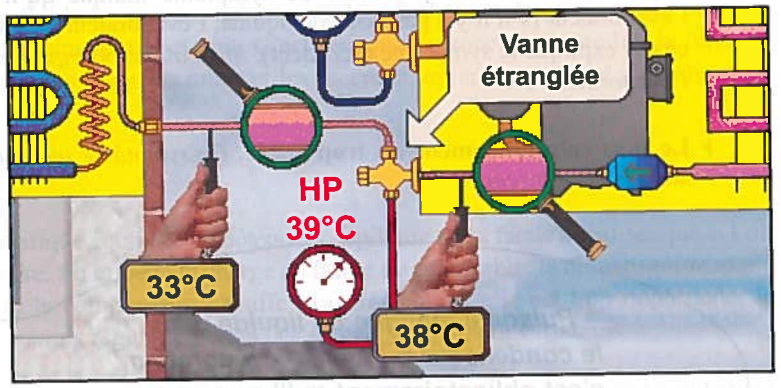
BP trop faible. Le compresseur tente d'aspirer une quantité de vapeurs bien supérieure à celle produite dans l'évaporateur. C'est pourquoi la BP, et donc la température d'évaporation, diminuent fortement (en cas de besoin, voir *page 269*).

Sous refroidissement trop faible. Le condenseur recevant moins de puissance frigorifique à évacuer, il devient surpuissant. Le fluide est alors bien mieux refroidi et la pression de condensation diminue.

Puisqu'il manque du fluide frigorigène dans l'installation, il en manque partout et cette insuffisance de liquide dans le bas du condenseur se traduit par un sous refroidissement faible, voire nul si le manque de fluide est très important (voir *page 252*).

Pas de ΔT anormal sur la ligne liquide. Prenez l'habitude de contrôler qu'il n'y a pas de ΔT sur la ligne liquide. Vous éviterez ainsi de tomber dans le piège ci-dessous :

Sur cette installation fonctionnant avec une HP de 39°C, il y a 38°C à la sortie du condenseur et donc un sous refroidissement de 39 - 38 = 1°C, c'est-à-dire beaucoup trop faible.



Avec une BP trop faible, on peut affirmer que l'installation manque de charge en fluide frigorigène. *Malheureusement, il y a une seconde panne : la vanne départ liquide étant étranglée, elle provoque une prédétente et le liquide sort de la vanne à 33°C.*

Un dépanneur arrive sur cette panne BP et il mesure de 33°C à la sortie de la vanne départ liquide.

Avec une HP de 39°C, il conclut *un peu trop rapidement* que le sous refroidissement est égal à 39 - 33 = 6°C (c'est-à-dire tout à fait correct) et donc qu'il y a du liquide dans le condenseur. La surchauffe étant importante, il diagnostique un manque de liquide dans l'évaporateur et donc un détendeur trop petit (panne étudiée dans le chapitre précédent) : *grossière erreur puisqu'il ne contrôle pas l'existence éventuelle d'un ΔT sur la ligne liquide.*

S'il entreprend de changer le détendeur capillaire, c'est le début de très gros ennuis !

Remarque : sur un climatiseur en fonctionnement normal, la température d'évaporation est toujours légèrement supérieure à 0°C.



Puisque la panne du manque de fluide provoque une diminution de la BP, la température d'évaporation devient inférieure à 0°C et les condensats qui ruissellent sur les tubes et les ailettes ont tendance à givrer. A ce moment le givre, qui est un excellent isolant thermique, diminue l'échange de chaleur entre le fluide frigorigène et l'air. Au fur et à mesure, le givre progresse sur l'évaporateur et risque même parfois de l'obstruer complètement.

Vous serez alors en présence de deux pannes simultanées : la panne du manque de fluide et la panne de l'évaporateur trop petit (qui sera étudiée *page 289*).

Pour éviter de partir sur une fausse piste, laissez toujours l'évaporateur dégivrer complètement avant d'établir votre diagnostic.

Symptômes caractéristiques de la panne du manque de fluide.

- **La BP est trop faible.** Ce symptôme indique que le compresseur aspire davantage de vapeurs que l'évaporateur n'en produit. *Pour trouver la panne, il faut trouver pourquoi l'évaporateur ne produit pas suffisamment de vapeurs.*

- **La surchauffe est trop élevée.** Ce symptôme indique qu'il manque du liquide dans l'évaporateur (s'il n'y a pas assez de liquide, l'évaporateur ne produit pas assez de vapeurs, ce qui explique le symptôme précédent). *Mais alors, pourquoi manque-t-il du liquide dans l'évaporateur ?*

- **Le sous refroidissement est trop faible.** *Ce symptôme indique qu'il manque du liquide dans le condenseur.*



Un technicien digne de ce nom ne devrait jamais envisager de charger une installation en fluide frigorigène avant d'avoir vérifié que le sous refroidissement est effectivement trop faible, et avant d'avoir localisé et réparé la fuite !

La panne du manque de fluide : aspect pratique.

La fuite :

Le manque de fluide (appelé également manque de charge) est souvent dû à un mauvais contrôle de l'étanchéité du circuit. Les fuites se produisent très souvent sur les raccordements et sur les vannes de service.

On ne le répétera jamais assez : le contrôle de l'étanchéité est incontournable et il doit être effectué très sérieusement à chaque intervention sur un circuit.

Si vous utilisez un détecteur de fuite électronique un peu ancien, vérifiez sur sa documentation s'il est capable de détecter le fluide frigorigène utilisé dans le circuit. En effet, les anciens détecteurs très efficaces pour trouver une fuite de fluide CFC (R12, R22, R502, etc.) sont bien incapable de détecter une fuite si le circuit est chargé avec un fluide frigorigène HFC (R407C, R410A, R134a, R404A, etc.).



On trouve dans le commerce du savon spécial pour rechercher les fuites. Il suffit de le passer sur tous les points suspects (raccords, brasures, etc.) et de contrôler qu'aucune bulle de savon ne prend naissance. Pour se dépanner, on peut aussi utiliser du savon liquide (genre Teepol) additionné d'eau qu'on passe au pinceau sur les raccords.

Enfin, rappelez-vous que le fluide frigorigène qui part par le refoulement du compresseur entraîne de l'huile qui va se répandre dans tout le circuit. C'est pourquoi la zone où se produit la fuite est souvent grasse (en passant la main sur les tubes et les raccords, on arrive souvent à localiser les zones suspectes).

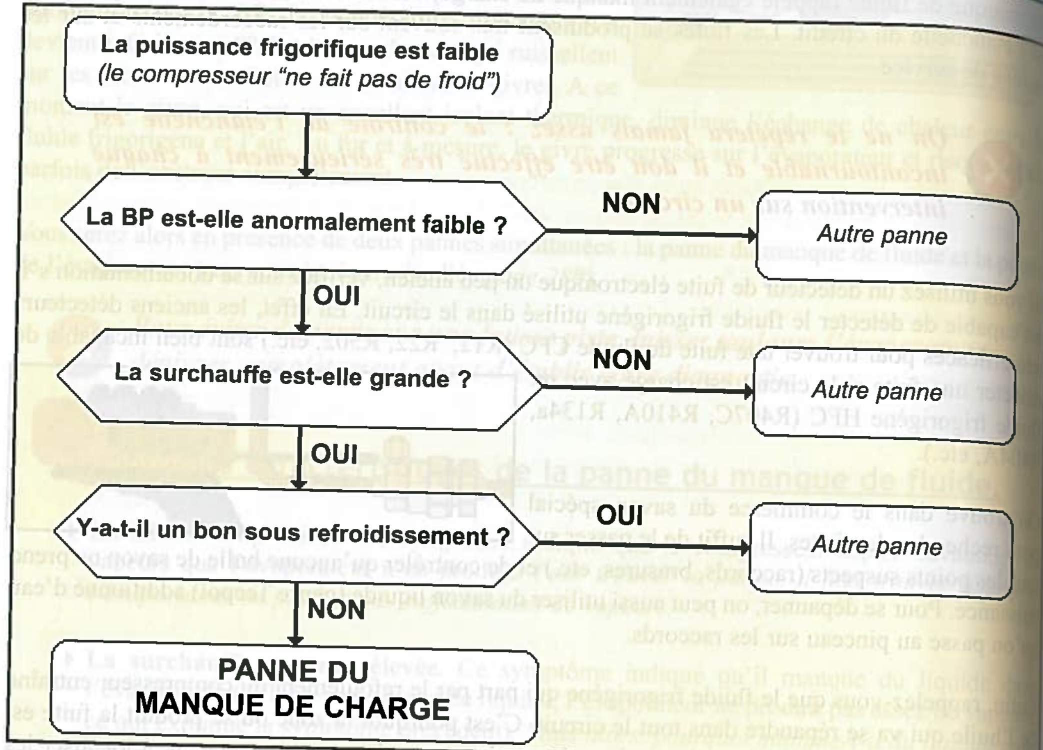
La charge :

La charge d'un circuit frigorifique équipé d'un détendeur capillaire n'est facile à réaliser que si l'on dispose du matériel nécessaire. En effet, si la charge en fluide est trop faible, le climatiseur manque de puissance frigorifique et le compresseur chauffe exagérément. Si elle est trop importante, le compresseur risque d'être soumis régulièrement à des coups de liquide dévastateurs.

Pour rester dans le contexte de ce manuel d'initiation, disons que pour faire une charge rapidement et sans aucun risque, il faut utiliser une balance (le cylindre de charge, beaucoup utilisé dans le passé, est devenu obsolète) en respectant le type de fluide et la quantité exacte indiquée sur la plaque signalétique de l'appareil (si l'appareil contient déjà du fluide, voir *page 421*).

La nouvelle réglementation Européenne établit des règles très strictes en ce qui concerne le contrôle d'étanchéité des installations (voir le détail pages 282 et 283).

PANNE DU MANQUE DE CHARGE MÉTHODOLOGIE DU DIAGNOSTIC



Un manque de fluide frigorigène dans l'évaporateur provoque obligatoirement une surchauffe importante.

Un manque de fluide frigorigène dans le condenseur entraîne obligatoirement un sous refroidissement trop faible.

Si la surchauffe est trop élevée ET si le sous refroidissement est trop faible, c'est obligatoirement qu'il manque du liquide dans l'évaporateur ET dans le condenseur, et donc qu'il y a un manque de charge.

Dans tous les cas, un dépanneur digne de ce nom ne recharge jamais une installation avant d'avoir trouvé la fuite.

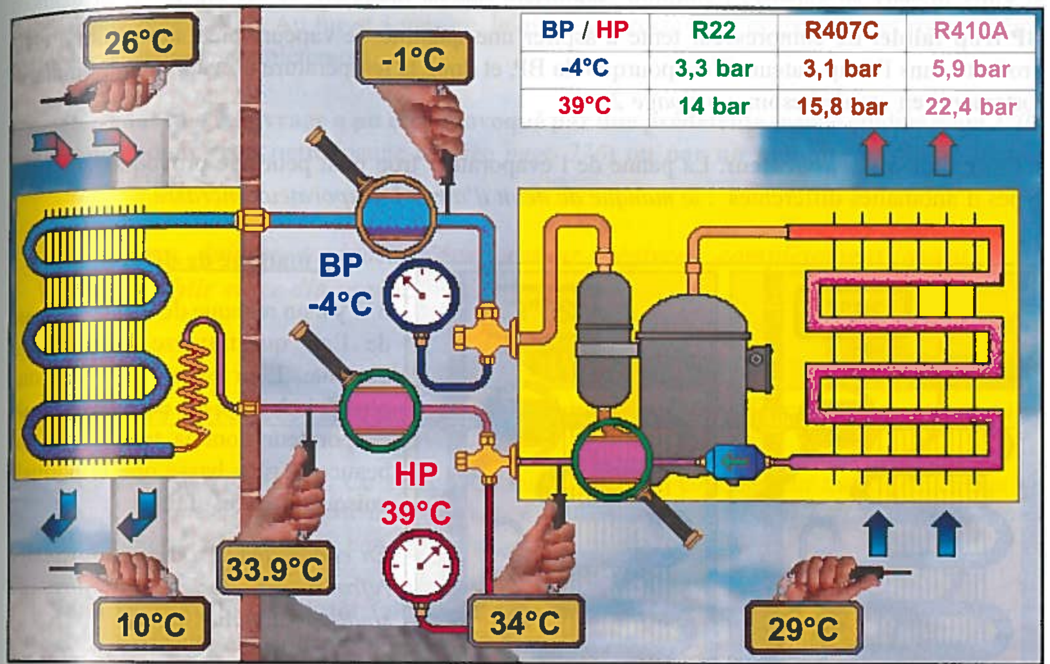
Il ne quitte jamais un chantier avant avoir " fait les fuites ", en particulier sur toutes les parties du circuit sur lesquelles il est intervenu.

LA PANNE DE L'ÉVAPORATEUR TROP PETIT

Analyse de la panne.

Pour analyser les symptômes de cette panne BP (donc avec une BP trop faible), nous allons supposer que *les filtres à l'entrée de l'évaporateur sont très encrassés.*

Vous trouverez une nouvelle fois ci-dessous les différentes mesures effectuées et les valeurs qu'on aurait dû trouver s'il n'y avait pas de panne.



	Fonctionnement normal *(voir page 174)*	Grandeurs mesurées	Conclusion
BP	$T_0 = T_{ambiante} - \Delta T_{Total}$ $T_0 = 26 - 18 \approx 8°C$	$T_0 = -4°C$	**BP trop faible**
HP	$T_K = T_{extérieure} + \Delta T_{Total}$ $T_K = 29 + 16 \approx 45°C$	$T_K = 39°C$	HP un peu faible
SC (surchauffe)	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $SC \approx 5$ à 10°C	$SC = T_{aspiration} - T_0$ **$SC = -1 - (-4) = 3°C$**	**Surchauffe trop faible**
SR (sous refroid.)	$SR = T_K - T_{liquide}$ $SR \approx 4$ à 7°C	$SR = T_K - T_{liquide}$ **$SR = 39 - 34 = 5°C$**	Sous refroid. correct
ΔT_{LL}	$\Delta T_{LL} < 1°C$	$\Delta T_{LL} = 34 - 33{,}9$ **$\Delta T_{LL} = 0{,}1°C$**	Pas de ΔT anormal sur la ligne liquide
$\Delta T_{air\ évapo}$	$\Delta T_{air\ évapo} \approx 8$ à 10°C en grande vitesse	$\Delta T_{air\ évapo} = 26 - 10$ $\Delta T_{air\ évapo} = 16°C$	**Voir page suivante**

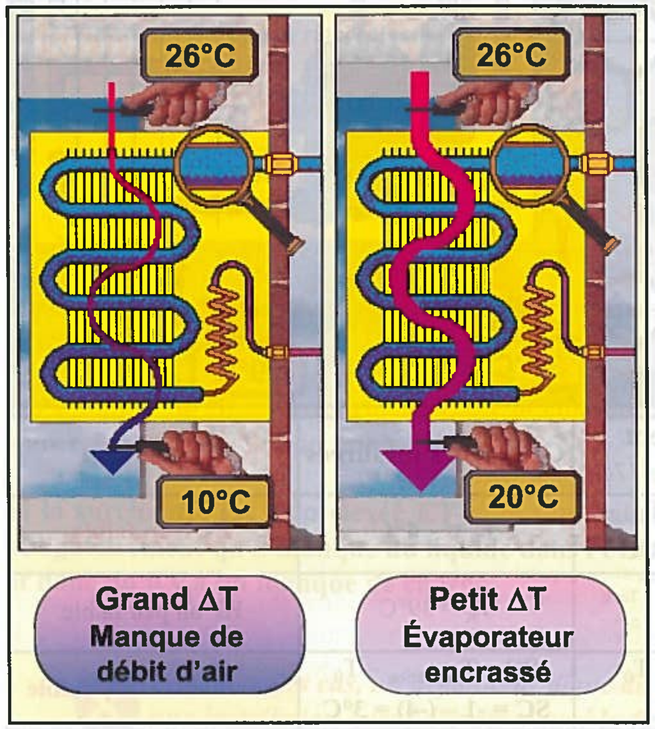
Évaporateur trop petit : explication des symptômes.

Manque de puissance frigorifique. Les filtres étant encrassés, le débit d'air diminue fortement (à la limite, si les filtres étaient complètement bouchés, il n'y aurait plus aucun échange de chaleur possible entre l'air et le fluide frigorigène). C'est pourquoi la puissance frigorifique diminue. Le local étant mal refroidi, la température ambiante augmente et le client vous appelle en dépannage.

Surchauffe trop faible. A cause du mauvais échange de chaleur entre le fluide frigorigène et l'air, le liquide absorbe moins de chaleur. Il se vaporise donc moins intensément et il avance vers la sortie de l'évaporateur. C'est pourquoi la surchauffe diminue (voir *page 250*). Selon l'importance de la réduction du débit d'air, le compresseur peut même recevoir des coups de liquide meurtriers et la tuyauterie d'aspiration peut complètement givrer.

BP trop faible. Le compresseur tente d'aspirer une quantité de vapeurs bien supérieure à celle produite dans l'évaporateur. C'est pourquoi la BP, et donc la température d'évaporation diminuent fortement (en cas de besoin, voir *page 269*).

ΔT sur l'air à l'évaporateur. La panne de l'évaporateur trop petit peut être provoquée par deux types d'anomalies différentes : *le manque de débit d'air et l'évaporateur encrassé.*



Le manque de débit d'air :

S'il y a un manque de débit, la vitesse de l'air qui traverse l'évaporateur diminue. L'air reste donc beaucoup plus longtemps en contact avec un évaporateur dont la température est beaucoup plus basse que la normale puisque la BP est faible.

En conséquence, l'air est davantage refroidi et la température de soufflage diminue.

L'évaporateur encrassé :

Si la panne est provoquée par l'encrassement des tubes et des ailettes de l'évaporateur, l'échange de chaleur entre le fluide frigorigène et l'air se fait très mal car le " crasse " se comporte comme un très bon isolant thermique.

En conséquence, l'air qui traverse l'évaporateur est moins bien refroidi et la température de soufflage augmente.

C'est le ΔT sur l'air qui différencie les deux familles de pannes de l'évaporateur trop petit. En grande vitesse, un ΔT important indique un manque de débit d'air, un ΔT trop faible indique que l'évaporateur est encrassé.

En grande vitesse, un ΔT sur l'air trop important indique un manque de débit d'air tandis qu'un ΔT plutôt faible indique un évaporateur encrassé. Pour trancher entre ces 2 hypothèses, il suffit la plupart du temps de contrôler visuellement l'état des filtres et éventuellement de les nettoyer !

Remarque : sur un climatiseur en fonctionnement normal, la température d'évaporation est toujours légèrement supérieure à 0°C.



Puisque la panne de l'évaporateur trop petit provoque une diminution de la BP, la température d'évaporation devient inférieure à 0°C et les condensats qui ruissellent sur les tubes et les ailettes ont tendance à givrer. A ce moment le givre, qui est un excellent isolant thermique, diminue l'échange de chaleur entre le fluide frigorigène et l'air. Au fur et à mesure, le givre progresse sur l'évaporateur et risque même parfois de l'obstruer complètement.

Rappelez-vous que ce givrage a pu être provoqué par une prédétente (panne étudiée *page 270*), **par un détendeur trop petit** (panne étudiée *page 276*) **ou par un manque de fluide** (panne étudiée *page 284*).

Alors, laissez toujours l'évaporateur dégivrer complètement avant d'établir votre diagnostic.

Symptômes caractéristiques de la panne de l'évaporateur trop petit.

- **La BP est trop faible.** Ce symptôme indique que le compresseur aspire davantage de vapeurs que l'évaporateur n'en produit. *Pour trouver la panne, il faut trouver pourquoi l'évaporateur ne produit pas suffisamment de vapeurs.*
- **La surchauffe est plutôt faible.** Ce symptôme indique qu'il y a davantage de liquide dans l'évaporateur que celui-ci n'est capable d'en vaporiser. *Mais alors, pourquoi la vaporisation du liquide se fait-elle mal ?*



Panne de l'évaporateur trop petit : quelques exemples.

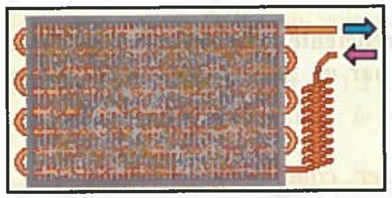
Les filtres sont sales :



En climatisation de confort, les filtres piègent les impuretés diverses contenues dans l'air, ce qui les encrasse progressivement.

Au fur et à mesure de l'encrassage des filtres, leur résistance au passage de l'air augmente avec pour conséquence une réduction progressive du débit d'air et donc une diminution de la BP et de la surchauffe. Il ne faut donc pas hésiter à nettoyer les filtres régulièrement, d'autant plus que la plupart de ceux qui équipent nos appareils sont lavables.

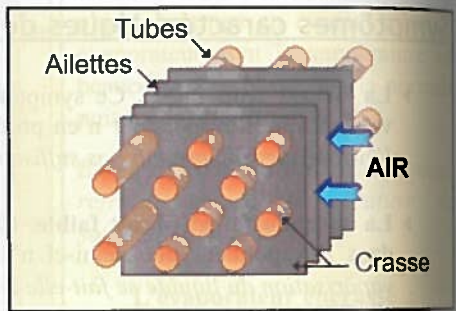
Les tubes et ailettes de l'évaporateur sont encrassés :



Ce problème est beaucoup plus délicat puisqu'il peut parfois nécessiter le remplacement de l'évaporateur.

Cette panne risque principalement de se produire sur des installations mal entretenues, fonctionnant avec des filtres déchirés ou même parfois sans filtres.

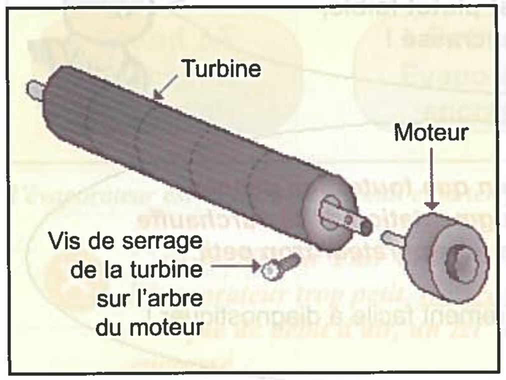
Cependant, il existe aussi des locaux à risques, par exemple les salons de coiffure. En effet, les filtres sont incapables d'arrêter les vapeurs de laque qui se déposent alors sur les ailettes et les tubes de l'évaporateur en formant une pellicule isolante.



Dans les pays qui n'ont pas interdit de fumer dans les lieux publics, dans les " locaux gros fumeurs " tels que bars, restaurants, boîtes de nuit, etc., les vapeurs de nicotine et de goudron (qui sont des gaz) traversent sans difficulté les filtres et se condensent sur l'évaporateur en formant une pellicule jaunâtre aussi isolante que celle formée par de la laque.

La turbine du ventilo-évaporateur patine :

La turbine tangentielle est fixée sur l'arbre du moteur à l'aide d'une petite vis (voir ci-dessous).



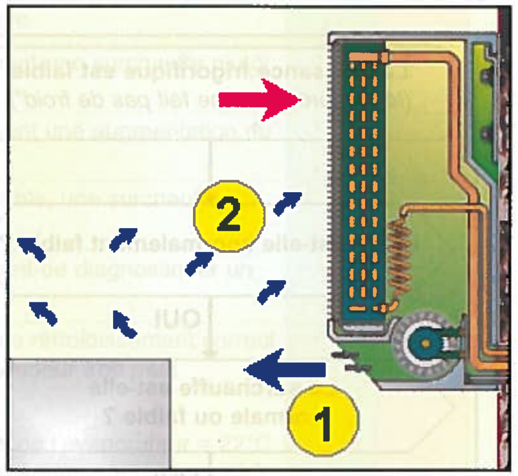
Si celle-ci se desserre, la turbine patine, sa vitesse de rotation diminue et le débit d'air chute fortement (généralement, ce type de problème provoque un bruit anormal au niveau de l'évaporateur).

Il peut aussi arriver que la turbine se désaxe de son palier pendant le transport. Au démarrage du climatiseur, la turbine reste alors bloquée et elle ne tourne pas.

Il est recommandé de tester sa libre rotation à la main avant la mise sous tension du moteur.

Il y a un recyclage parasite :

Vous devez toujours vous préoccuper de la direction du flux d'air frais soufflé par l'évaporateur. Il doit apporter le confort nécessaire sans toutefois être propulsé directement sur les occupants.



Il faut également faire très attention à un recyclage éventuel. Si une partie de l'air soufflé (repère **1**) bute sur un obstacle(par exemple une armoire), cet air froid risque d'être réaspiré sur l'entrée d'air (repère **2**).

A ce moment, la température moyenne de l'air diminuant à l'entrée de l'évaporateur, la température d'évaporation va également diminuer (rappelez-vous qu'elle dépend du ΔT_{Total}).

Si la BP devient inférieure à 0°C, le givrage de l'évaporateur est assuré !

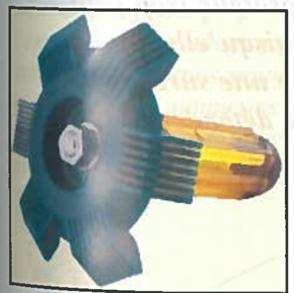
De nombreuses ailettes de l'évaporateur sont très écrasées :

Si de nombreuses ailettes sont écrasées, elles augmentent la résistance de l'évaporateur au passage de l'air et provoquent une réduction du débit d'air global (ce qui tend à provoquer *une augmentation* du ΔT sur l'air).

D'un autre point de vue, s'il y a de nombreuses ailettes écrasées, cela équivaut à une réduction de la surface d'échange de l'évaporateur, ce qui entraîne un moins bon refroidissement et donc *une réduction* du ΔT sur l'air.



En résumé, le ΔT sur l'air veut d'une part *augmenter* du fait de la réduction du débit d'air, mais d'autre part il veut *diminuer* du fait de la réduction de la surface d'échange (il n'y aura donc généralement pas de variation vraiment notable).

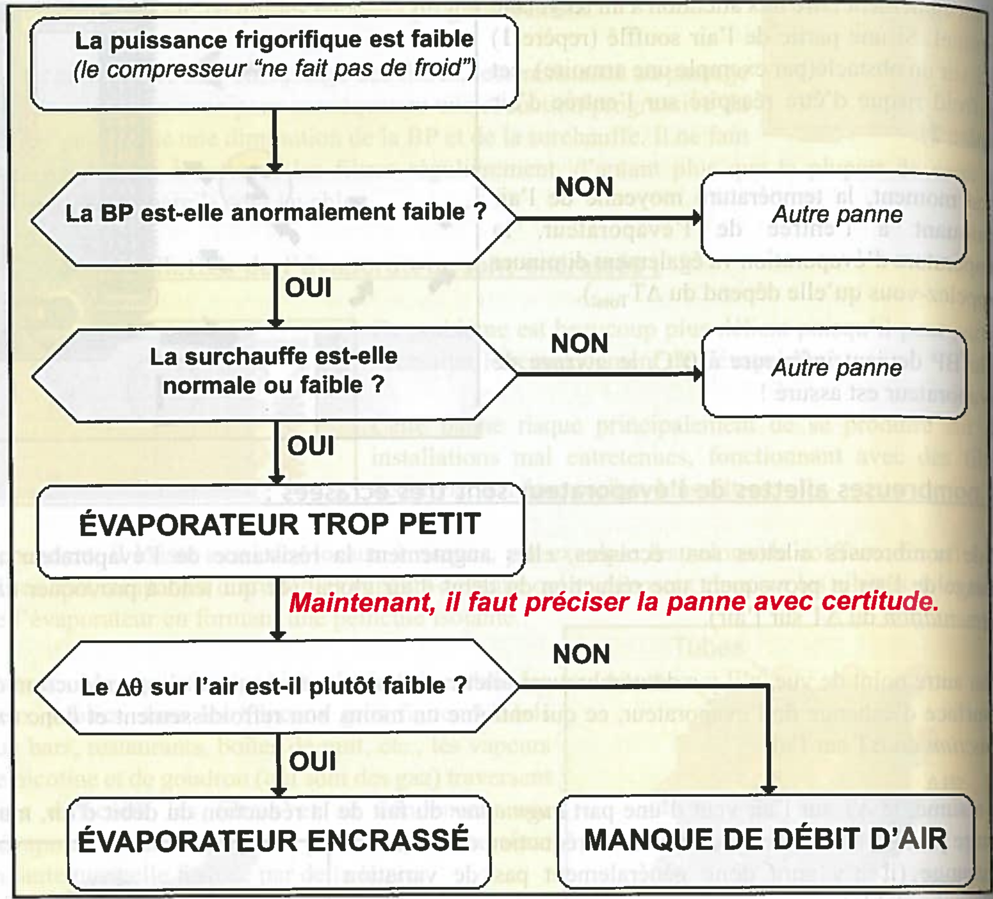


Finalement, la valeur du ΔT sur l'air ne pouvant être d'un grand secours pour le diagnostic final, seul un examen visuel de l'état des ailettes pourra permettre de résoudre facilement le problème.

Il ne restera plus au dépanneur qu'à repeigner soigneusement les parties écrasées avec un peigne à batterie tel que ceux représentés ci-contre, en respectant bien le pas (écartement) exact des ailettes.

Attention aux mains (il vaut mieux mettre des gants) car les ailettes sont souvent coupantes comme des lames de rasoir !

PANNE DE L'ÉVAPORATEUR TROP PETIT : MÉTHODOLOGIE DU DIAGNOSTIC



De toutes les pannes BP, la panne de l'évaporateur trop petit est assurément la plus facile à détecter puisqu'elle est la seule panne avec une BP trop faible qui donne une surchauffe soit normale, soit faible (selon la qualité du détendeur et la gravité de la panne).

Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°22 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX	
1	Le ventilateur étant en grande vitesse, si l'air arrive sur l'évaporateur à 25°C et que la température d'évaporation est de 2°C, alors il y a vraisemblablement une panne BP qui se prépare			1
2	Toutes les pannes BP provoquent obligatoirement une surchauffe plutôt élevée			2
3	Toutes les pannes BP provoquent obligatoirement une augmentation du sous refroidissement			3
4	La panne de la prédétente provoque une BP faible, une surchauffe élevée et un sous refroidissement correct			4
5	Une BP faible et une surchauffe faible permettent de diagnostiquer un évaporateur trop petit			5
6	Une BP faible, une surchauffe élevée et un sous refroidissement correct permettent de diagnostiquer à coup sûr un détendeur trop petit			6
7	Sur un climatiseur fonctionnant au R407C : ▸ Si la température des vapeurs à la sortie de l'évaporateur = 22°C *avec température de bulle = 0°C et température de rosée = 6°C* ▸ Si la température du liquide à la sortie du condenseur = 35°C *avec Temp. de bulle = 37°C et Temp. de rosée = 42°C* Alors il y a un manque de charge en fluide frigorigène			7
8	Sur un climatiseur fonctionnant au R407C : ▸ Si la température des vapeurs à la sortie de l'évaporateur = 18°C *avec température de bulle = 5°C et température de rosée = 11°C* ▸ Si la température du liquide à la sortie du condenseur = 38°C *avec Temp. de bulle = 33°C et Temp. de rosée = 48°C* On peut affirmer qu'il y a une panne BP en préparation			8
	CORRIGÉ DE L'EXERCICE	VRAI	FAUX	

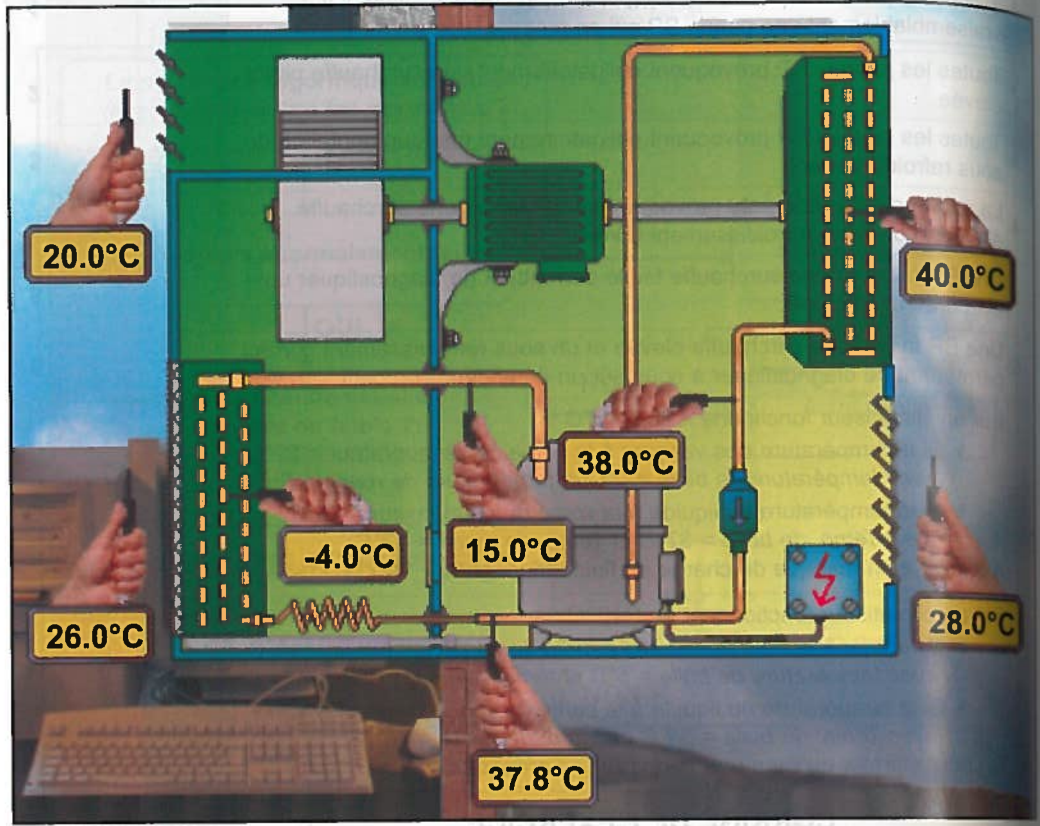
1 : Vrai. Le ΔT total devrait être compris entre 16 et 20°C. Ici, il est de 25 - 2 = 23°C ce qui est trop important en grande vitesse et indique qu'une panne BP se prépare. - 2 : Faux. La panne de l'évaporateur trop petit provoque au contraire une surchauffe plutôt faible. - 3 : Faux. La panne du manque de charge provoque au contraire un faible sous refroidissement. - 4 : Vrai. N'oublions pas qu'elle provoque en plus un ΔT significatif sur la ligne liquide - 5 : Vrai. C'est la seule panne BP provoquant une surchauffe faible. - 6 : Faux. On ne pourra diagnostiquer un détendeur trop petit qu'après avoir vérifié qu'il n'y a pas de prédétente sur la ligne liquide. - 7 : Vrai. La surchauffe est très importante (22 - 6 = 16°C) et le sous refroidissement très faible (37 - 35 = 2°C). Ce sont les 2 symptômes caractéristiques d'un manque de charge. - 8 : Faux. La surchauffe est tout à fait correcte (18 - 11 = 7°C) et le sous refroidissement également (38 - 33 = 5°C). On ne peut donc rien affirmer du tout !

Avant d'attaquer les pannes HP, il est indispensable de bien maîtriser les pannes BP.

Alors n'hésitez pas à relire depuis la page 260 avant de continuer.

EXERCICE 1

Selon vous, quelle est la panne sur le climatiseur window ci-dessous chargé avec du R410A ?

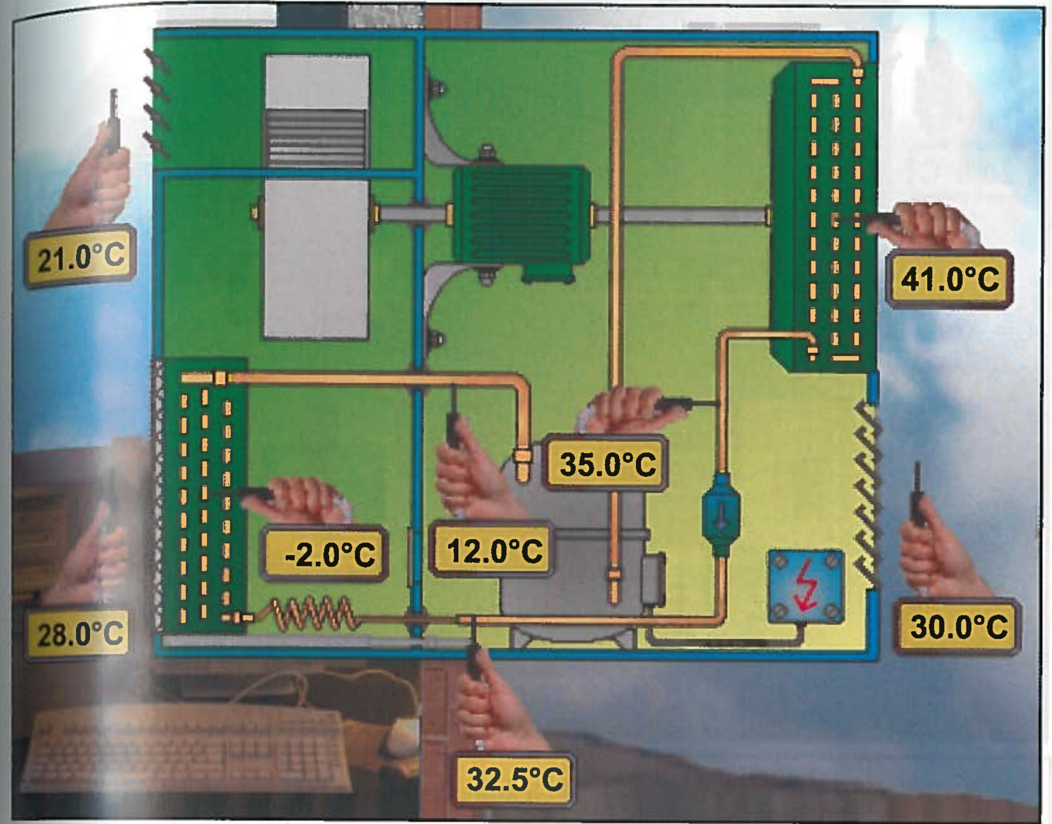


	Fonctionnement normal *(voir page 174)*	Grandeurs mesurées	Conclusion
BP	$T_0 = T_{ambiante} - \Delta T_{Total}$ $T_0 = 26 - 18 \approx 8°C$	$T_0 =$	
HP	$T_K = T_{extérieure} + \Delta T_{Total}$ $T_K = 28 + 15 \approx 43°C$	$T_K =$	
SC (surchauffe)	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $SC \approx 5$ à $10°C$	SC =	
SR (sous refroid.)	$SR = T_K - T_{liquide}$ $SR \approx 4$ à $7°C$	SR =	
ΔT_{LL}	$\Delta T_{LL} < 1°C$	ΔT_{LL}	
$\Delta T_{air\ évapo}$	$\Delta T_{air\ évapo} \approx 8$ à $10°C$ en grande vitesse	$\Delta T_{air\ évapo}$	

Solution page 298

EXERCICE 2

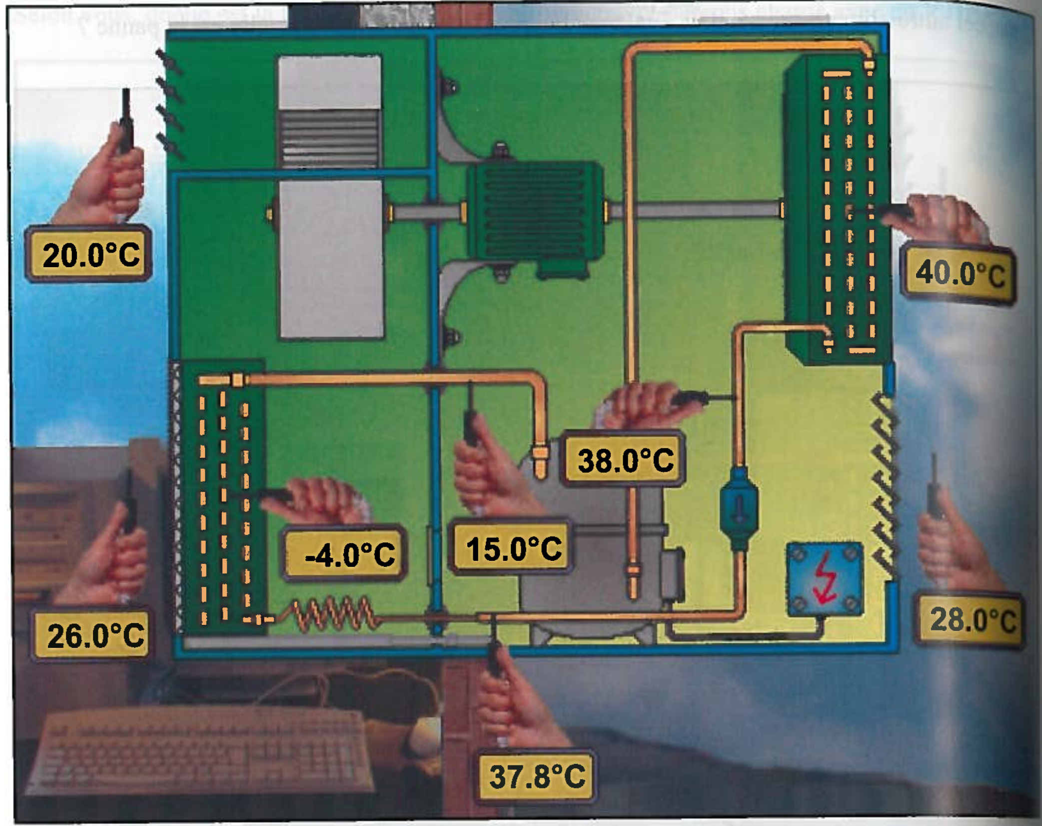
Et sur cet autre climatiseur window également chargé avec du R410A, quelle est la panne ?



	Fonctionnement normal *(voir page 174)*	Grandeurs mesurées	Conclusion
BP	$T_0 = T_{ambiante} - \Delta T_{Total}$ $T_0 = 28 - 18 \approx 10°C$	$T_0 =$	
HP	$T_K = T_{extérieure} + \Delta T_{Total}$ $T_K = 30 + 15 \approx 45°C$	$T_K =$	
SC (surchauffe)	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $SC \approx 5$ à $10°C$	SC =	
SR (sous refroid.)	$SR = T_K - T_{liquide}$ $SR \approx 4$ à $7°C$	SR =	
ΔT_{LL}	$\Delta T_{LL} < 1°C$	ΔT_{LL}	
$\Delta T_{air\ évapo}$	$\Delta T_{air\ évapo} \approx 8$ à $10°C$ en grande vitesse	$\Delta T_{air\ évapo}$	

Solution page 299

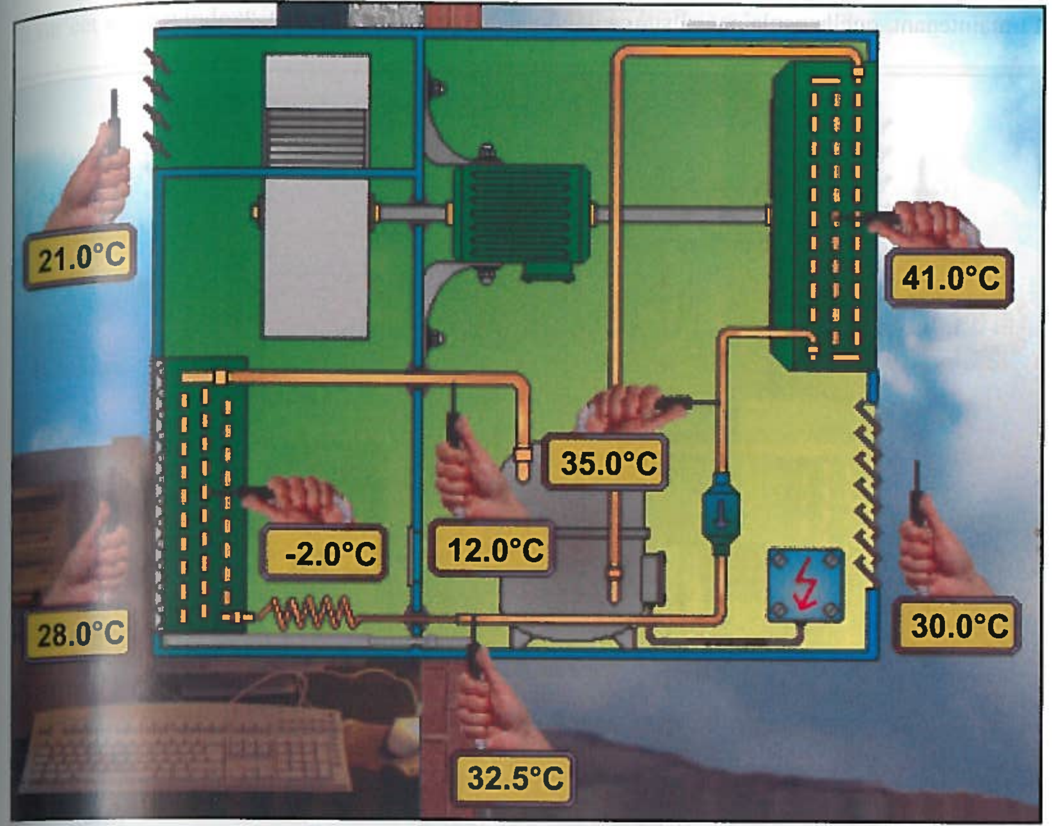
CORRECTION DE L'EXERCICE 1



	Fonctionnement normal *(voir page 174)*	Grandeurs mesurées	Conclusion
BP	$T_0 = T_{ambiante} - \Delta T_{Total}$ $T_0 = 26 - 18 \approx 8°C$	**T_0 = - 4°C**	**BP trop faible**
HP	$T_K = T_{extérieure} + \Delta T_{Total}$ $T_K = 28 + 15 \approx 43°C$	$T_K = 40°C$	HP un peu faible
SC (surchauffe)	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $SC \approx 5$ à $10°C$	$SC = T_{aspiration} - T_0$ **SC = 15 – (-4) = 19°C**	**Surchauffe très importante**
SR (sous refroid.)	$SR = T_K - T_{liquide}$ $SR \approx 4$ à $7°C$	$SR = T_K - T_{liquide}$ **SR = 40 – 38 = 2°C**	**Sous refroid. trop faible**
ΔT_{LL}	$\Delta T_{LL} < 1°C$	$\Delta T_{LL} = 38 - 37{,}8$ $\Delta T_{LL} = 0{,}2°C$	Pas de ΔT anormal sur la ligne liquide
$\Delta T_{air\ évapo}$	$\Delta T_{air\ évapo} \approx 8$ à $10°C$ en grande vitesse	$\Delta T_{air\ évapo} = 26 - 20$ $\Delta T_{air\ évapo} = 6°C$	ΔT un peu faible

Une BP faible avec un sous refroidissement anormalement faible sont la preuve d'un manque de charge en R410A. Il ne reste plus qu'à trouver la fuite, à récupérer tout le fluide restant dans l'appareil (nous verrons comment procéder un peu plus tard), à réparer la fuite puis à recharger l'appareil avec la charge exacte prévue par le constructeur.

CORRECTION DE L'EXERCICE 2

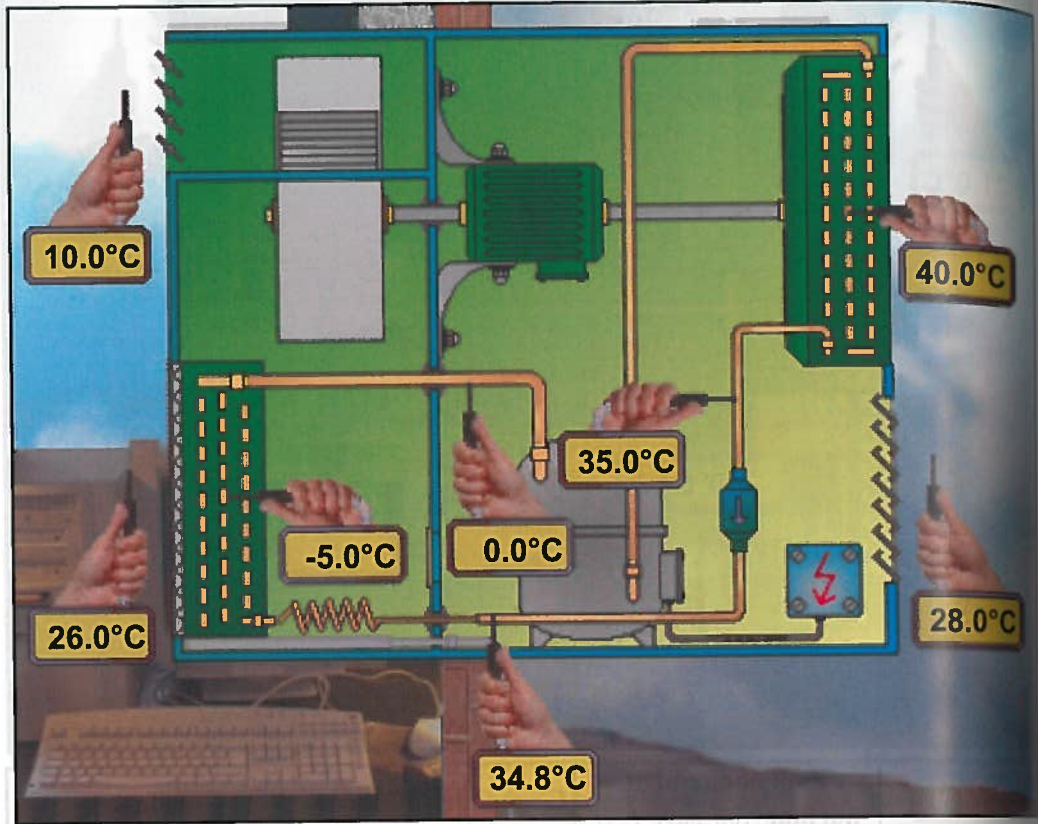


	Fonctionnement normal *(voir page 174)*	Grandeurs mesurées	Conclusion
BP	$T_0 = T_{ambiante} - \Delta T_{Total}$ $T_0 = 28 - 18 \approx 10°C$	**T_0 = - 2°C**	**BP trop faible**
HP	$T_K = T_{extérieure} + \Delta T_{Total}$ $T_K = 30 + 15 \approx 45°C$	$T_K = 41°C$	HP un peu faible
SC (surchauffe)	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $SC \approx 5$ à $10°C$	$SC = T_{aspiration} - T_0$ **SC = 12 – (-2) = 14°C**	**Surchauffe très importante**
SR (sous refroid.)	$SR = T_K - T_{liquide}$ $SR \approx 4$ à $7°C$	$SR = T_K - T_{liquide}$ **SR = 41 – 35 = 6°C**	**Sous refroid. corret**
ΔT_{LL}	$\Delta T_{LL} < 1°C$	$\Delta T_{LL} = 35 - 32{,}5$ **ΔT_{LL} = 2.5°C**	**ΔT anormal sur la ligne liquide**
$\Delta T_{air\ évapo}$	$\Delta T_{air\ évapo} \approx 8$ à $10°C$ en grande vitesse	$\Delta T_{air\ évapo} = 28 - 21$ $\Delta T_{air\ évapo} = 7°C$	ΔT un peu faible

Une BP faible avec une surchauffe anormalement élevée indiquent un manque de fluide dans l'évapo. Le sous refroidissement correct indique qu'il y a suffisamment de liquide dans le condenseur. Pourquoi ce liquide ne parvient-il pas à l'évapo ? Soit il y a une prédétente dans la ligne liquide (c'est le cas ici), sinon c'est un problème de détendeur trop petit.

EXERCICE 3

Et maintenant, quelle est la panne sur ce window chargé avec du R410A ?

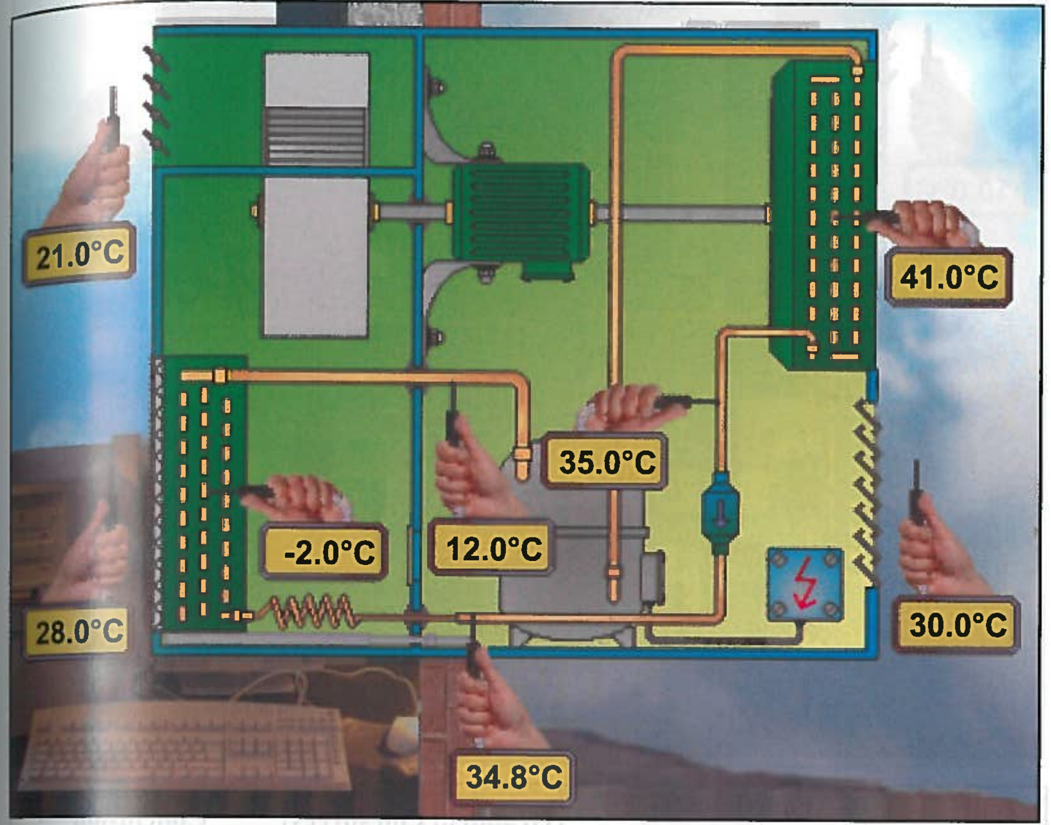


	Fonctionnement normal *(voir page 174)*	Grandeurs mesurées	Conclusion
BP	$T_0 = T_{ambiante} - \Delta T_{Total}$ $T_0 = 26 - 18 \approx 8°C$	$T_0 =$	
HP	$T_K = T_{extérieure} + \Delta T_{Total}$ $T_K = 28 + 15 \approx 43°C$	$T_K =$	
SC (surchauffe)	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $SC \approx 5$ à $10°C$	SC =	
SR (sous refroid.)	$SR = T_K - T_{liquide}$ $SR \approx 4$ à $7°C$	SR =	
ΔT_{LL}	$\Delta T_{LL} < 1°C$	ΔT_{LL}	
$\Delta T_{air\ évapo}$	$\Delta T_{air\ évapo} \approx 8$ à $10°C$ en grande vitesse	$\Delta T_{air\ évapo}$	

Solution page 302

EXERCICE 4

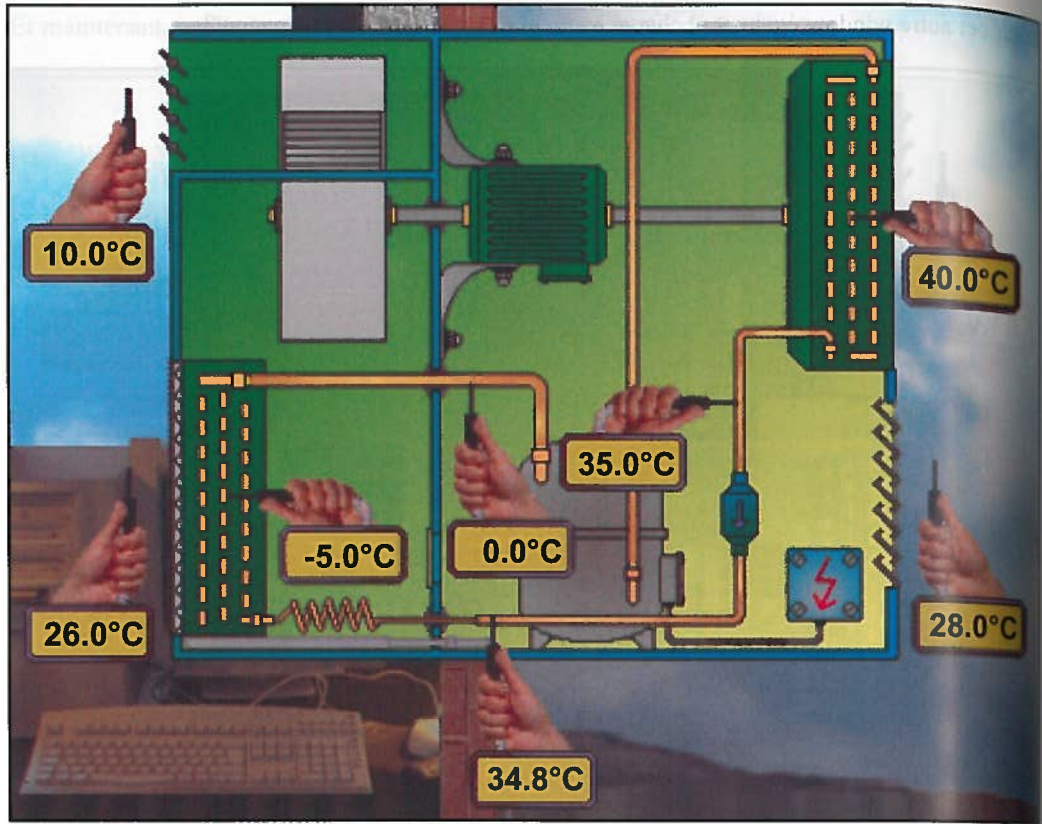
Et sur cet autre window également chargé avec du R410A, quelle est la panne ?



	Fonctionnement normal *(voir page 174)*	Grandeurs mesurées	Conclusion
BP	$T_0 = T_{ambiante} - \Delta T_{Total}$ $T_0 = 28 - 18 \approx 10°C$	$T_0 =$	
HP	$T_K = T_{extérieure} + \Delta T_{Total}$ $T_K = 30 + 15 \approx 45°C$	$T_K =$	
SC (surchauffe)	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $SC \approx 5$ à $10°C$	SC =	
SR (sous refroid.)	$SR = T_K - T_{liquide}$ $SR \approx 4$ à $7°C$	SR =	
ΔT_{LL}	$\Delta T_{LL} < 1°C$	ΔT_{LL}	
$\Delta T_{air\ évapo}$	$\Delta T_{air\ évapo} \approx 8$ à $10°C$ en grande vitesse	$\Delta T_{air\ évapo}$	

Solution page 303

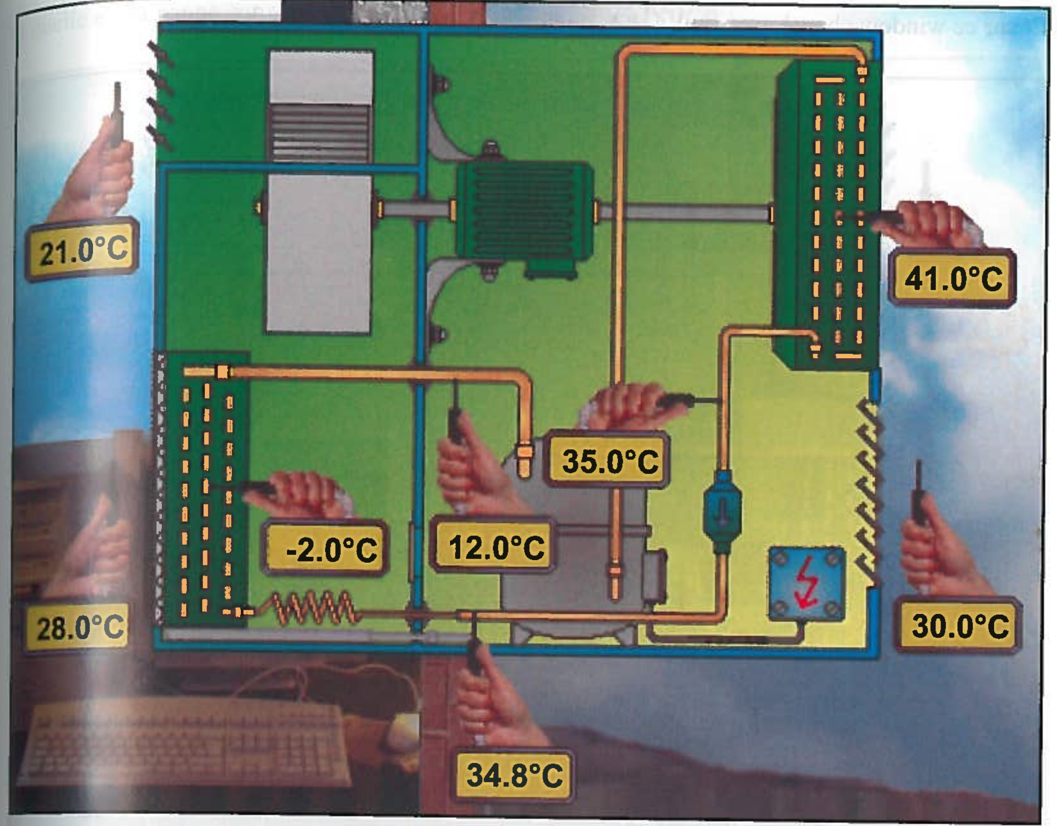
CORRECTION DE L'EXERCICE 3



	Fonctionnement normal *(voir page 174)*	Grandeurs mesurées	Conclusion
BP	$T_0 = T_{ambiante} - \Delta T_{Total}$ $T_0 = 26 - 18 \approx 8°C$	$\mathbf{T_0 = -5°C}$	**BP trop faible**
HP	$T_K = T_{extérieure} + \Delta T_{Total}$ $T_K = 28 + 15 \approx 43°C$	$T_K = 40°C$	HP un peu faible
SC (surchauffe)	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $SC \approx 5$ à $10°C$	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $\mathbf{SC = 0 - (-5) = 5°C}$	**Surchauffe normale**
SR (sous refroid.)	$SR = T_K - T_{liquide}$ $SR \approx 4$ à $7°C$	$SR = T_K - T_{liquide}$ $\mathbf{SR = 40 - 35 = 5°C}$	**Sous refroid. normal**
ΔT_{LL}	$\Delta T_{LL} < 1°C$	$\Delta T_{LL} = 35 - 34{,}8$ $\Delta T_{LL} = 0{,}2°C$	Pas de ΔT anormal sur la ligne liquide
$\Delta T_{air\ évapo}$	$\Delta T_{air\ évapo} \approx 8$ à $10°C$ en grande vitesse	$\Delta T_{air\ évapo} = 26 - 10$ $\mathbf{\Delta T_{air\ évapo} = 16°C}$	**ΔT sur l'air élevé**

Une BP faible avec une surchauffe tout à fait correcte indiquent un évapo trop petit (c'est la seule panne BP donnant une surchauffe faible). Soit l'évapo est encrassé (et alors le ΔT sur l'air est plutôt faible) soit c'est un manque de débit d'air (le plus souvent provoqué par des filtres sales). Cette dernière hypothèse est la bonne puisque le ΔT sur l'air est anormalement élevé.

CORRECTION DE L'EXERCICE 4

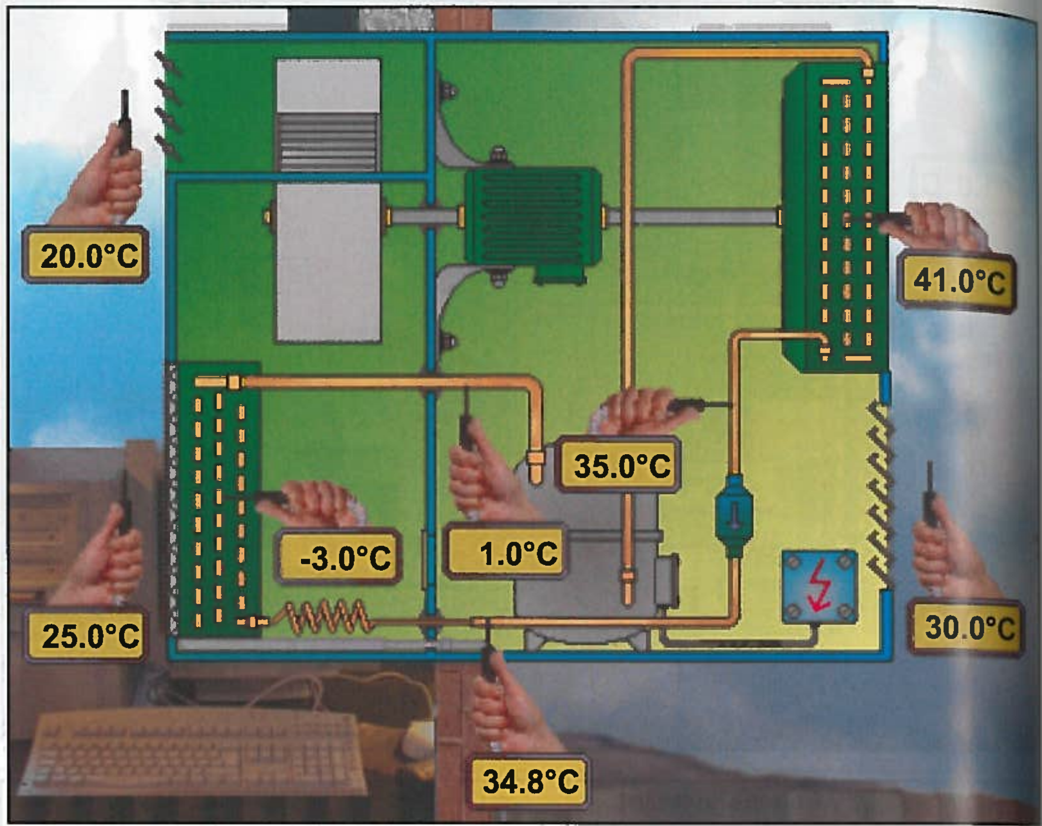


	Fonctionnement normal *(voir page 174)*	Grandeurs mesurées	Conclusion
BP	$T_0 = T_{ambiante} - \Delta T_{Total}$ $T_0 = 28 - 18 \approx 10°C$	$\mathbf{T_0 = -2°C}$	**BP trop faible**
HP	$T_K = T_{extérieure} + \Delta T_{Total}$ $T_K = 30 + 15 \approx 45°C$	$T_K = 41°C$	HP un peu faible
SC (surchauffe)	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $SC \approx 5$ à $10°C$	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $\mathbf{SC = 12 - (-2) = 14°C}$	**Surchauffe très importante**
SR (sous refroid.)	$SR = T_K - T_{liquide}$ $SR \approx 4$ à $7°C$	$SR = T_K - T_{liquide}$ $\mathbf{SR = 41 - 35 = 6°C}$	**Sous refroid. correct**
ΔT_{LL}	$\Delta T_{LL} < 1°C$	$\Delta T_{LL} = 35 - 34.8$ $\Delta T_{LL} = 0.2°C$	**Pas de ΔT anormal sur la ligne liquide**
$\Delta T_{air\ évapo}$	$\Delta T_{air\ évapo} \approx 8$ à $10°C$ en grande vitesse	$\Delta T_{air\ évapo} = 28 - 21$ $\Delta T_{air\ évapo} = 7°C$	ΔT un peu faible

Une BP faible avec une surchauffe anormalement élevée indiquent un manque de fluide dans l'évapo. Le sous refroidissement correct indique qu'il y a suffisamment de liquide dans le condenseur. Pourquoi ce liquide ne parvient-il pas à l'évapo ? Soit il y a une prédétente dans la ligne liquide (c'est n'est pas le cas), sinon c'est un détendeur trop petit (c'est donc la panne).

EXERCICE 5

Et sur ce window chargé avec du R410A, quelle est la panne selon vous ?

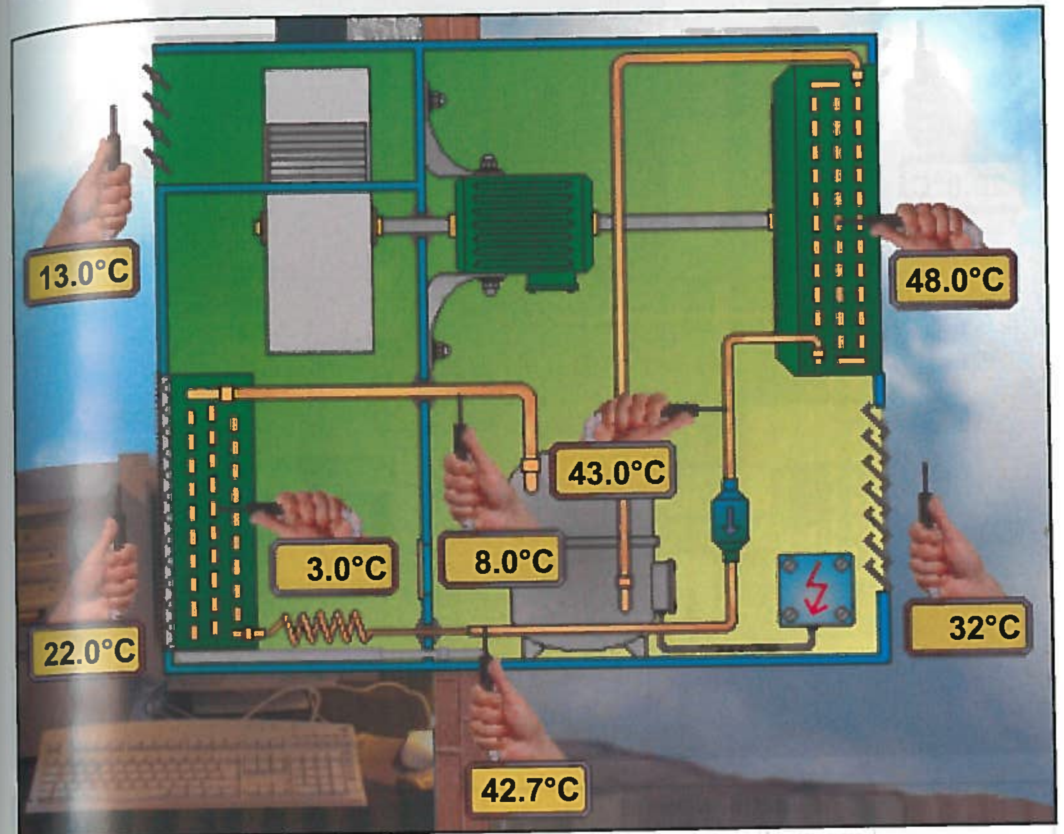


	Fonctionnement **normal** *(voir page 174)*	Grandeurs mesurées	Conclusion
BP	$T_0 = T_{ambiante} - \Delta T_{Total}$ $T_0 = 25 - 18 \approx 7°C$	$T_0 =$	
HP	$T_K = T_{extérieure} + \Delta T_{Total}$ $T_K = 30 + 15 \approx 45°C$	$T_K =$	
SC (surchauffe)	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $SC \approx 5$ à $10°C$	SC =	
SR (sous refroid.)	$SR = T_K - T_{liquide}$ $SR \approx 4$ à $7°C$	SR =	
ΔT_{LL}	$\Delta T_{LL} < 1°C$	ΔT_{LL}	
$\Delta T_{air\ évapo}$	$\Delta T_{air\ évapo} \approx 8$ à $10°C$ en grande vitesse	$\Delta T_{air\ évapo}$	

Solution page 306

EXERCICE 6

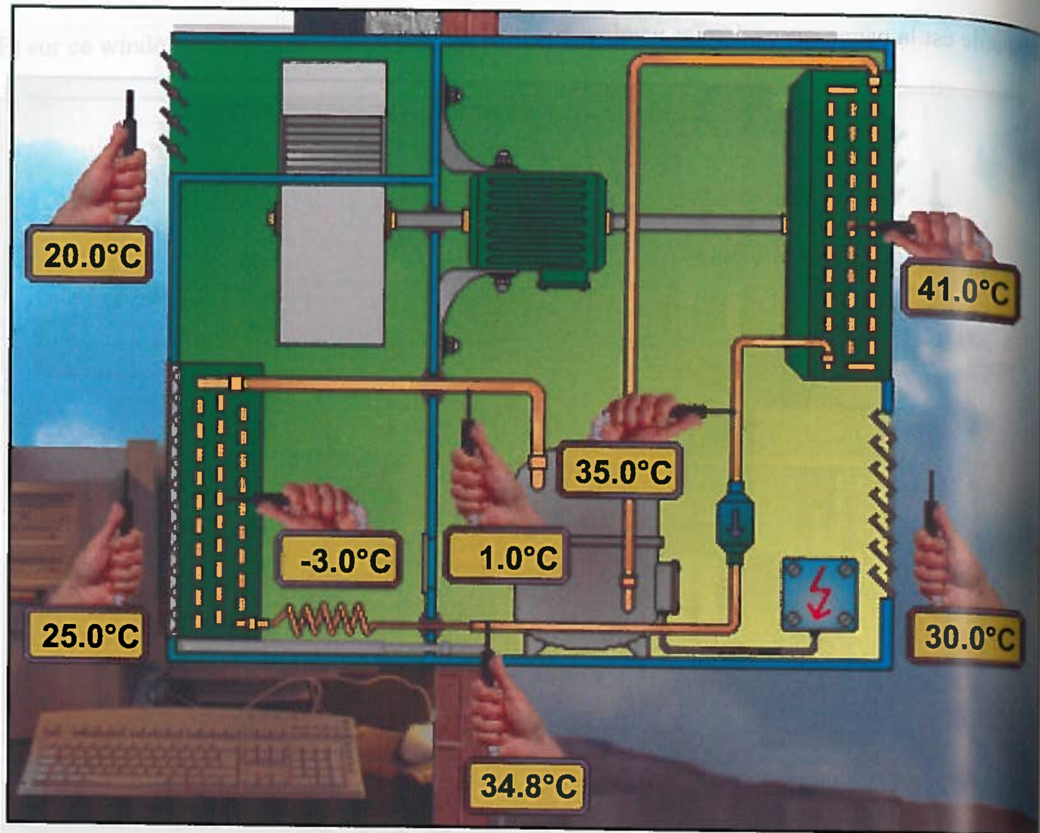
Et quelle est la panne sur ce dernier window chargé avec du R410A ?



	Fonctionnement **normal** *(voir page 174)*	Grandeurs mesurées	Conclusion
BP	$T_0 = T_{ambiante} - \Delta T_{Total}$ $T_0 = 22 - 18 \approx 4°C$	$T_0 =$	
HP	$T_K = T_{extérieure} + \Delta T_{Total}$ $T_K = 32 + 15 \approx 47°C$	$T_K =$	
SC (surchauffe)	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $SC \approx 5$ à $10°C$	SC =	
SR (sous refroid.)	$SR = T_K - T_{liquide}$ $SR \approx 4$ à $7°C$	SR =	
ΔT_{LL}	$\Delta T_{LL} < 1°C$	ΔT_{LL}	
$\Delta T_{air\ évapo}$	$\Delta T_{air\ évapo} \approx 8$ à $10°C$ en grande vitesse	$\Delta T_{air\ évapo}$	

Solution page 307

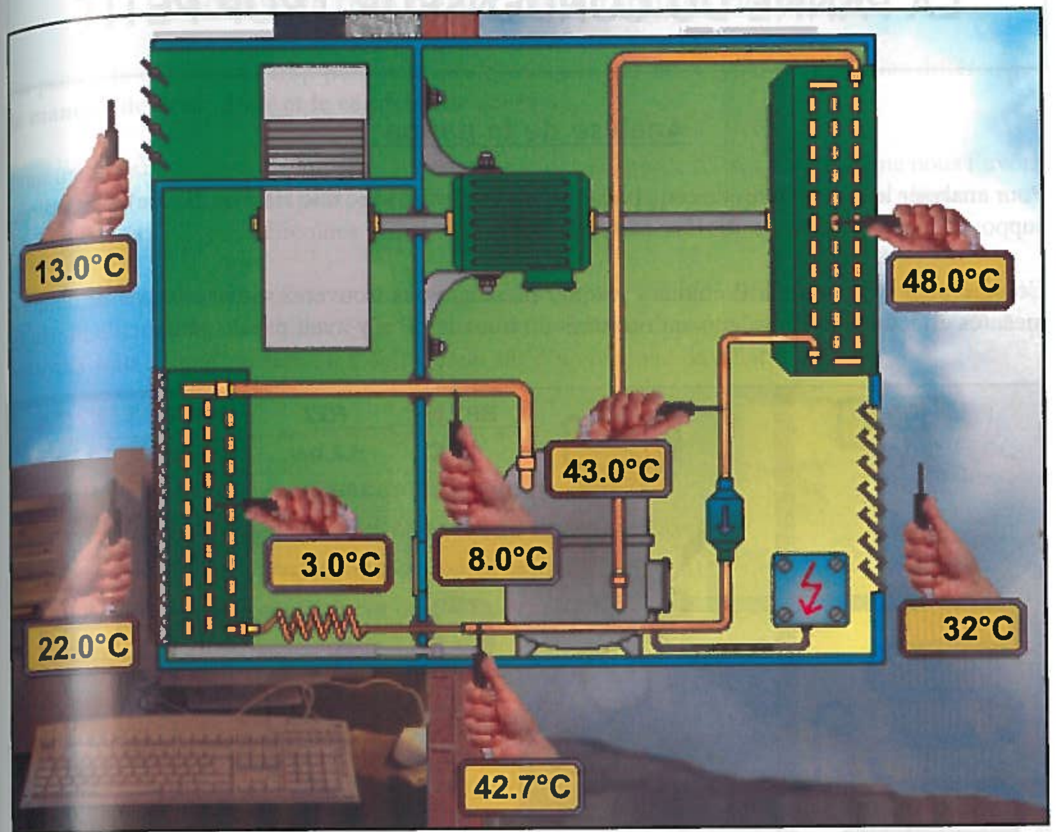
CORRECTION DE L'EXERCICE 5



	Fonctionnement normal *(voir page 174)*	Grandeurs mesurées	Conclusion
BP	$T_0 = T_{ambiante} - \Delta T_{Total}$ $T_0 = 25 - 18 \approx 7°C$	**T_0 = - 3°C**	**BP trop faible**
HP	$T_K = T_{extérieure} + \Delta T_{Total}$ $T_K = 30 + 15 \approx 45°C$	$T_K = 41°C$	HP un peu faible
SC (surchauffe)	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $SC \approx 5$ à $10°C$	$SC = T_{aspiration} - T_0$ **$SC = 1 - (-3) = 4°C$**	**Surchauffe plutôt normale**
SR (sous refroid.)	$SR = T_K - T_{liquide}$ $SR \approx 4$ à $7°C$	$SR = T_K - T_{liquide}$ **$SR = 41 - 35 = 6°C$**	**Sous refroid. normal**
ΔT_{LL}	$\Delta T_{LL} < 1°C$	$\Delta T_{LL} = 35 - 34{,}8$ $\Delta T_{LL} = 0{,}2°C$	Pas de ΔT anormal sur la ligne liquide
$\Delta T_{air\ évapo}$	$\Delta T_{air\ évapo} \approx 8$ à $10°C$ en grande vitesse	$\Delta T_{air\ évapo} = 25 - 20$ **$\Delta T_{air\ évapo} = 5°C$**	**ΔT sur l'air faible**

Une BP faible avec une surchauffe tout à fait correcte indiquent un évapo trop petit (c'est la seule panne BP donnant une surchauffe faible). Soit c'est un manque de débit d'air (le plus souvent provoqué par des filtres sales), soit l'évapo est encrassé (et alors le ΔT sur l'air est plutôt faible). Cette dernière hypothèse est la bonne puisque le ΔT sur l'air est anormalement faible.

CORRECTION DE L'EXERCICE 6



	Fonctionnement normal *(voir page 174)*	Grandeurs mesurées	Conclusion
BP	$T_0 = T_{ambiante} - \Delta T_{Total}$ $T_0 = 22 - 18 \approx 4°C$	$T_0 = 3°C$	BP normale
HP	$T_K = T_{extérieure} + \Delta T_{Total}$ $T_K = 32 + 15 \approx 47°C$	$T_K = 48°C$	HP normale
SC (surchauffe)	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $SC \approx 5$ à $10°C$	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $SC = 8 - (3) = 5°C$	Surchauffe normale
SR (sous refroid.)	$SR = T_K - T_{liquide}$ $SR \approx 4$ à $7°C$	$SR = T_K - T_{liquide}$ $SR = 48 - 43 = 5°C$	Sous refroid. correct
ΔT_{LL}	$\Delta T_{LL} < 1°C$	$\Delta T_{LL} = 43 - 42.7$ $\Delta T_{LL} = 0{,}3°C$	Pas de ΔT anormal sur la ligne liquide
$\Delta T_{air\ évapo}$	$\Delta T_{air\ évapo} \approx 8$ à $10°C$ en grande vitesse	$\Delta T_{air\ évapo} = 22 - 13$ $\Delta T_{air\ évapo} = 9°C$	ΔT normal

Tous les paramètres de fonctionnement sont absolument normaux.

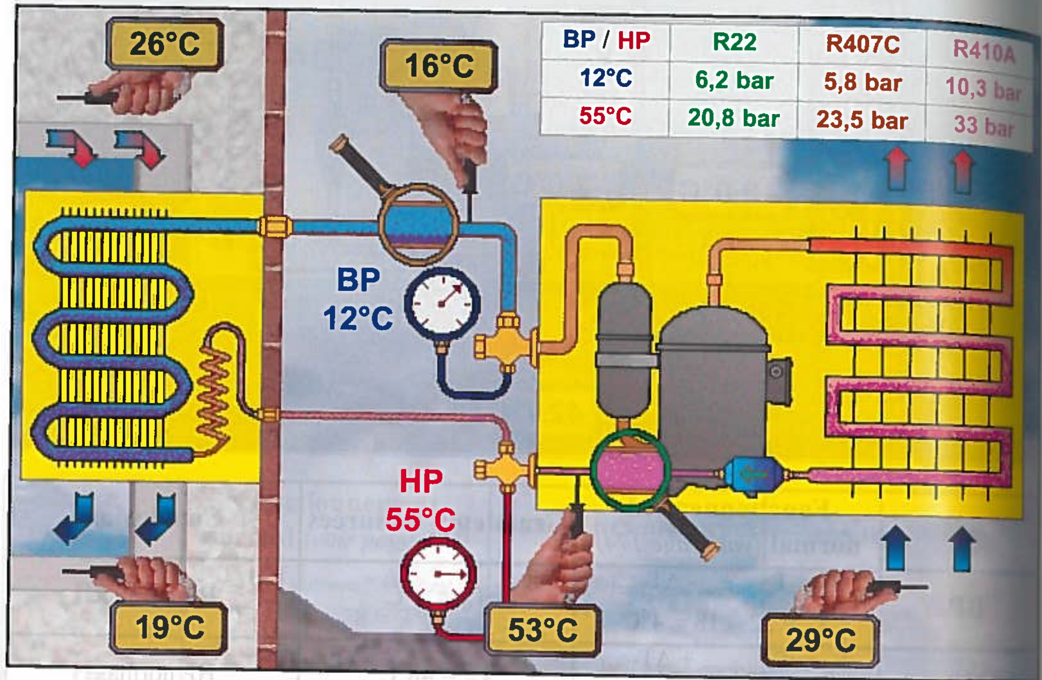
L'appareil fonctionne donc tout à fait normalement et il n'y a aucune panne.

LA PANNE DU CONDENSEUR TROP PETIT

Analyse de la panne :

Pour analyser les symptômes de cette panne HP (c'est-à-dire avec une HP trop élevée), nous allons supposer que *le condenseur est très encrassé.*

Comme pour les pannes BP étudiées jusqu'à présent, vous trouverez ci-dessous les différentes mesures effectuées et les valeurs qu'on aurait dû trouver s'il n'y avait pas de panne.



	Fonctionnement normal *(voir page 166)*	Grandeurs mesurées	Conclusion
BP	$T_0 = T_{ambiante} - \Delta T_{Total}$ $T_0 = 26 - 18 \approx 8°C$	$T_0 = 12°C$	BP élevée
HP	$T_K = T_{extérieure} + \Delta T_{Total}$ $T_K = 29 + 16 \approx 45°C$	$T_K = 55°C$	**HP trop élevée**
SC (surchauffe)	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $SC \approx 5$ à $10°C$	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $SC = -16 - (12) = 4°C$	Surchauffe plutôt faible
SR (sous refroid.)	$SR = T_K - T_{liquide}$ $SR \approx 4$ à $7°C$	$SR = T_K - T_{liquide}$ $SR = 55 - 53 = 2°C$	**Sous refroid. trop faible**
Condenseur	Propre, ailettes en bon état	Inspection visuelle	**Condenseur encrassé**

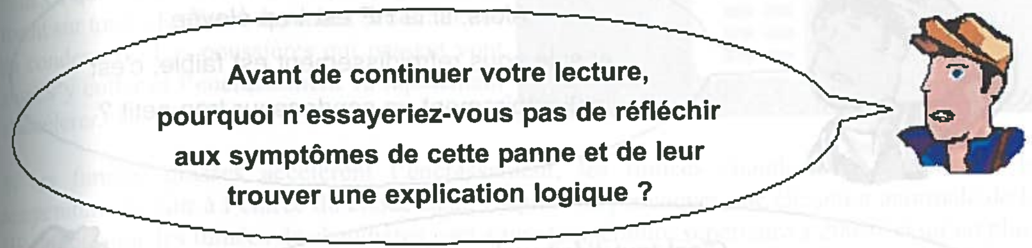
Dépannage

Condenseur trop petit : deux familles de pannes.

La panne du condenseur trop petit peut être provoquée par deux types d'anomalies différentes : **le manque de débit d'air et le condenseur encrassé.**

Pour trancher entre ces 2 hypothèses, n'essayez pas de mesurer le ΔT sur l'air (comme nous l'avons fait pour l'évaporateur trop petit, *page 290*). C'est en effet la plupart du temps très aléatoire avec les ventilateurs de type hélicoïdes utilisés sur les unités extérieures de confort.

La meilleure méthode consiste tout simplement à examiner l'état du condenseur (ce qui est facile) et éventuellement à le nettoyer. Si le condenseur est bien propre et *si la HP reste élevée avec un mauvais sous refroidissement*, il s'agit à coup sûr d'un manque de débit d'air.



Condenseur trop petit : explication des symptômes.

HP trop élevée. Le condenseur étant très encrassé, l'échange de chaleur entre le fluide frigorigène et l'air se fait beaucoup moins bien. Le fluide étant moins bien refroidi, sa température et donc sa pression augmentent. C'est pourquoi la HP devient anormalement élevée.

Sous refroidissement trop faible. La condensation du liquide s'effectuant très difficilement, la dernière molécule de vapeur se condense très tard par rapport au fonctionnement normal.

Il y a donc assez peu de liquide dans le bas du condenseur et ce liquide est mal refroidi. C'est pourquoi *le sous refroidissement diminue* et à la limite, il peut même parfois devenir nul (en cas de besoin, voir *page 252*).

Manque de puissance frigorifique. La HP augmentant, le compresseur " peine " et disons pour simplifier que sa capacité d'aspiration a tendance à diminuer. La masse de fluide en circulation diminue donc ainsi que la puissance frigorifique.

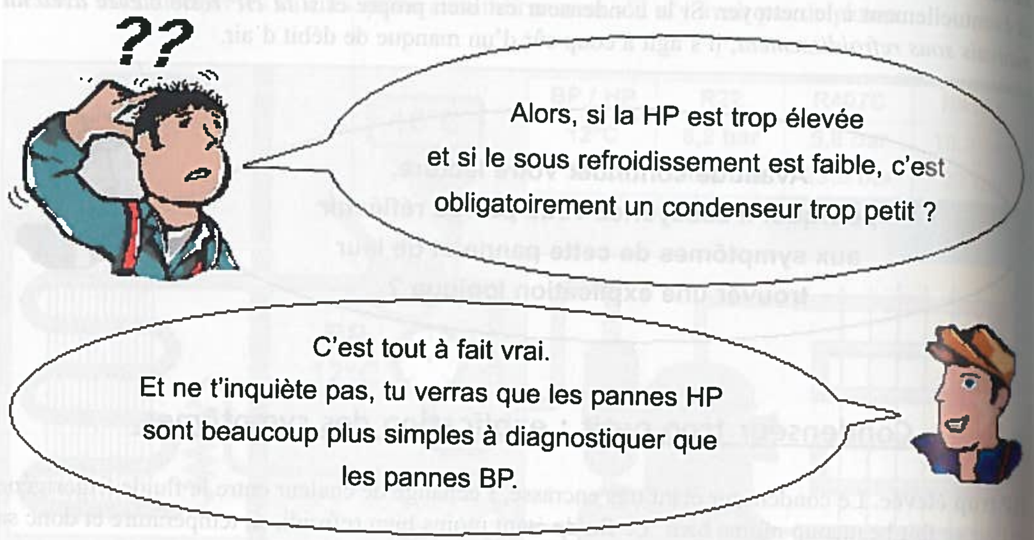
Comme le compresseur " peine " beaucoup, il absorbe une intensité importante et il peut même parfois couper aux sécurités électriques (klixon, protection interne ou disjoncteur). Le local n'étant alors plus refroidi, le client vous appelle en dépannage.

Surchauffe plutôt faible : La HP étant plus élevée, le capillaire injecte trop de liquide et la surchauffe a tendance à diminuer. Le compresseur risque même parfois de recevoir des coups de liquide facilement détectables par un simple " toucher " de la tuyauterie d'aspiration.

Dépannage

Symptômes caractéristiques des pannes HP.

- **Une HP anormalement élevée** indique que la condensation du fluide se fait mal. Avec les pannes HP, il n'y a que 2 hypothèses et c'est le sous refroidissement qui permet de trancher :
  - ***Soit le sous refroidissement est faible.*** *Dans ce cas, il s'agit de la panne du condenseur trop petit (condenseur sale ou manque de débit d'air).*
  - ***Soit le sous refroidissement est plutôt bon, voire anormalement élevé.*** *Dans ce cas soit il y a un excès de charge, soit des incondensables* (nous verrons ces 2 pannes en détail dans les chapitres suivants).

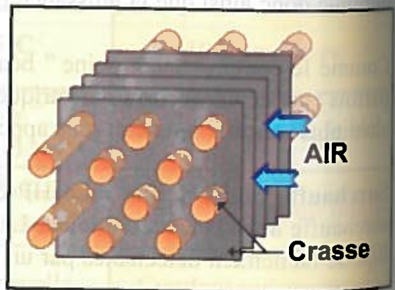


Toutes les pannes HP provoquent une augmentation très sensible du sous refroidissement, sauf la panne du condenseur trop petit. Elle est donc assez facile à détecter.

La panne du condenseur trop petit : quelques exemples.

Les tubes et les ailettes sont encrassés :

Contrairement aux évaporateurs, les condenseurs ne sont pas protégés par des filtres à air.



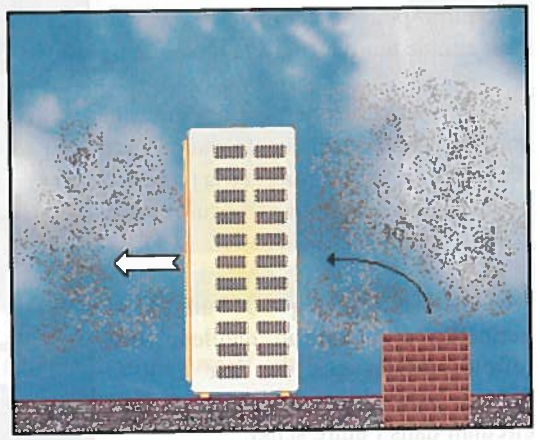
Généralement installés à l'extérieur, ils sont balayés par de l'air chargé de poussières diverses, de fumées, d'insectes volants, etc.

Ces conditions difficiles de fonctionnement expliquent la fréquence de cette panne principalement lorsque les condenseurs ne sont pas régulièrement entretenus.

L'emplacement du condenseur à air est mal choisi :

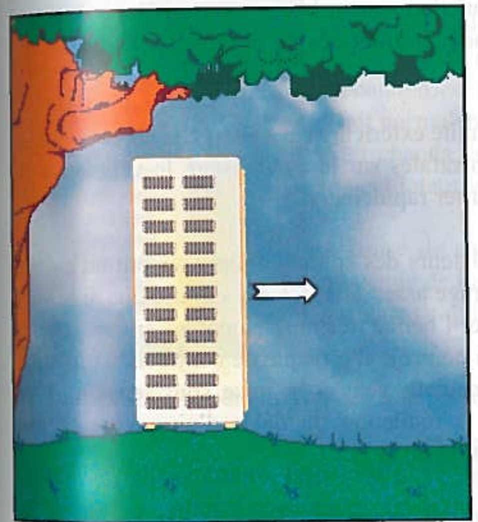
Au moment de l'installation d'un condenseur à air, il convient d'être particulièrement attentif au choix de son emplacement sous peine de risquer parfois des surprises ultérieures très désagréables.

Par exemple, en installant un condenseur sur un toit ou une terrasse, évitons qu'il puisse (directement ou sous l'action des vents dominants) aspirer des gaz provenant d'une extraction voisine, surtout s'il s'agit de fumées plutôt grasses (extraction de la cuisine d'un restaurant, etc.) ou très chaudes (cheminée de chaudière, etc.).



Pour ce qui les concerne, les vapeurs grasses se fixent sur toutes les faces des tubes et des ailettes du condenseur. Les poussières qui passent vont alors s'y coller et l'encrassement va rapidement s'accélérer.

Si les fumées grasses accélèrent l'encrassement, les fumées chaudes, en augmentant la température de l'air à l'entrée du condenseur, risquent de provoquer une élévation anormale de la HP (notons que les fumées de chaudières sont à une température supérieure à 200°C et qu'en plus, elles risquent de corroder les métaux constituant le condenseur).



Un autre exemple d'installation qui peut engendrer des problèmes est celui d'un condenseur à air placé à proximité d'arbres. Quand l'installation fonctionne en demi-saison, les feuilles qui tombent en automne ne doivent en aucun cas être aspirées par le condenseur. Sinon, elles réduiraient aussi bien la surface d'échange que le débit d'air, avec pour conséquence une augmentation importante de la HP.

Au moment du choix de l'emplacement d'un condenseur, il faut également penser à la réglementation (sites classés ou protégés, règlement de copropriété, etc.), aux nuisances sonores engendrées par l'appareil, aux vents dominants, aux chutes de neige, aux inondations, etc.

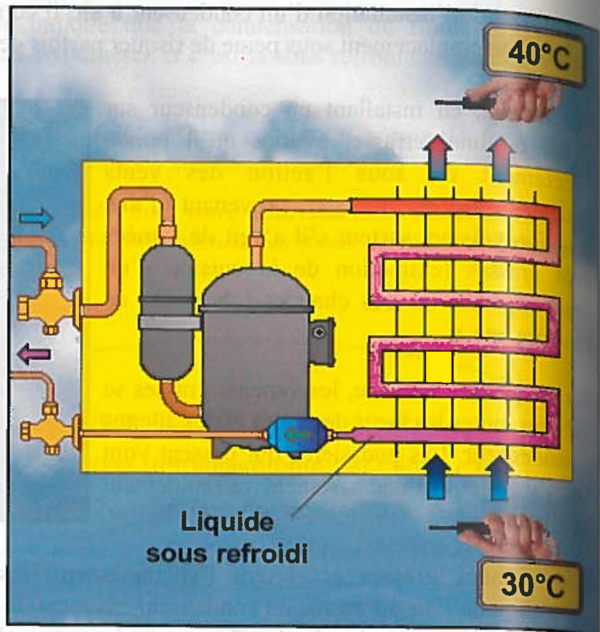
L'hélice du ventilateur patine sur son arbre :

Ce problème risque surtout de se produire avec les petits ventilateurs, lorsque la fixation de l'hélice est réalisée par une simple vis de serrage. Un rapide contrôle visuel permet de vérifier rapidement l'hypothèse, d'autant plus que l'alerte est souvent donnée par les bruits anormaux de l'hélice qui se " balade " sur l'arbre du moteur.

Le ventilo-condenseur tourne à l'envers :

Quelle que soit la technologie du condenseur à air, le constructeur prévoit toujours un sens de rotation bien déterminé pour le ventilateur afin que l'air circule toujours dans le même sens.

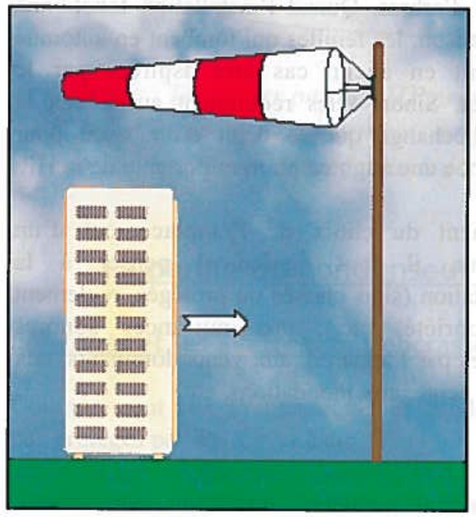
Cela permet par exemple d'optimiser le sous refroidissement en faisant passer d'abord l'air le plus frais sur la partie du condenseur où se trouve le liquide (voir schéma de principe ci-contre).



Il est en effet évident que de l'air à 30°C permettra d'obtenir un meilleur sous refroidissement que de l'air à 40°C (ce qui serait le cas ci-contre si l'air circulait dans l'autre sens).

Il est donc impératif de respecter le sens de passage de l'air recommandé par le constructeur sinon la puissance obtenue sera plus faible que prévue.

Ce manque de puissance entraînera un ΔT total en fonctionnement beaucoup trop élevé ainsi que tous les symptômes de la panne du condenseur trop petit, surtout dès les premières chaleurs.



Quand l'unité extérieure est à l'arrêt, si un vent violent souffle en rafales sur le condenseur, le ventilateur se met à tourner rapidement.

Les ventilateurs des splits monophasés ont un couple de démarrage assez faible. Cela signifie que si le vent fait tourner l'hélice très rapidement à l'envers (cas du croquis ci-contre), elle risque de continuer sa rotation dans le mauvais sens à la mise sous tension. A ce moment, la réduction du débit d'air provoque une augmentation de la HP.

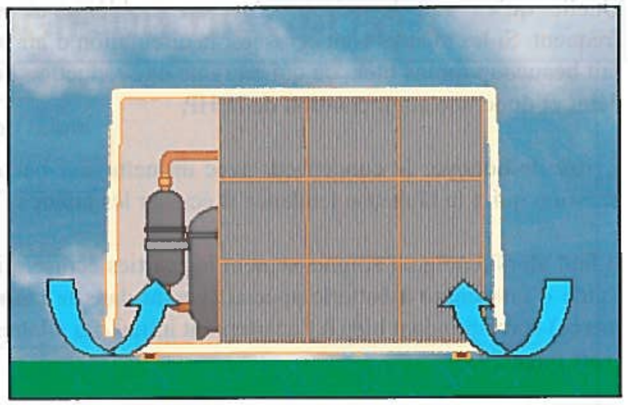
Le couple de démarrage des moteurs triphasés est généralement plus important et sous tension, ils ne peuvent pas tourner à l'envers.

Cependant, un ventilo-condenseur triphasé entraîné dans le mauvais sens à l'arrêt risque de couper aux sécurités électriques à la mise sous tension.

De plus, l'effet du vent en sens contraire peut s'opposer suffisamment au flux d'air qui traverse le condenseur pour provoquer une diminution du débit et donc une augmentation également non négligeable de la HP.

Il y a une prise d'air entre le condenseur et le ventilateur :

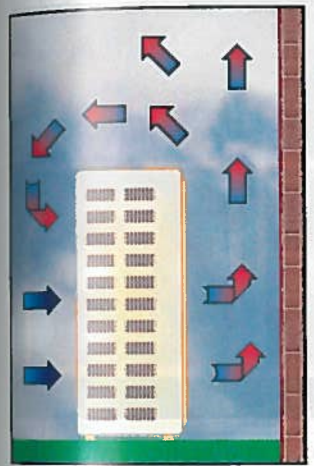
Il est impératif que la totalité de l'air aspiré par le ventilateur traverse le condenseur.



Toutefois, si la carrosserie est mal fermée, une quantité non négligeable d'air peut être aspirée directement par le ventilateur sans traverser le condenseur. La réduction du débit d'air qui ventile effectivement le condenseur peut alors devenir suffisante pour provoquer une élévation anormale de la HP.

Alors soyez vigilants et ne faites pas fonctionner l'unité extérieure sans sa carrosserie, même pendant les essais.

Il y a un recyclage d'air chaud sur le condenseur :



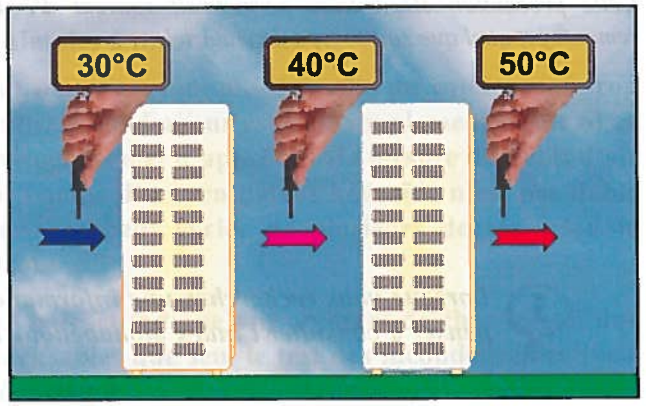
Il existe de nombreuses possibilités de recyclage parasite d'air chaud sur l'aspiration du ventilateur.

Dans l'exemple ci-contre, l'unité extérieure est installée *beaucoup trop près d'un mur*. Une partie importante de l'air très chaud qui sort du condenseur parvient à s'élever le long du mur et à s'évacuer tout à fait normalement dans l'atmosphère. Toutefois, de nombreux filets d'air chauds ricochent contre le mur et sont de nouveau aspirés par le ventilateur vers l'entrée du condenseur.

A cause de cet air chaud accidentellement recyclé, la température moyenne de l'air qui pénètre sur le condenseur est plus élevée que la normale ce qui entraîne une augmentation non négligeable de la HP.

Un autre problème peut arriver lorsque plusieurs unités extérieures sont installées côte à côte.

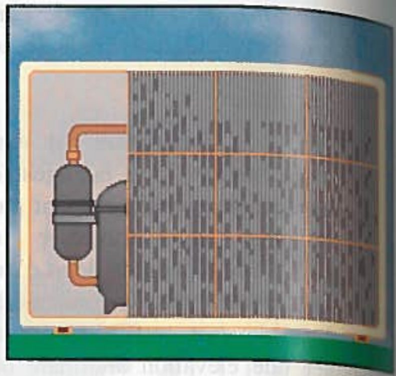
Dans l'exemple ci-contre, l'air à 40°C refoulé par le premier condenseur est aspiré par le second dont la HP monte alors exagérément.



Ces problèmes de recyclages parasites ne sont pas toujours faciles à résoudre.

Alors, soyez particulièrement vigilant lors de l'installation d'une unité extérieure.

De nombreuses ailettes sont écrasées :



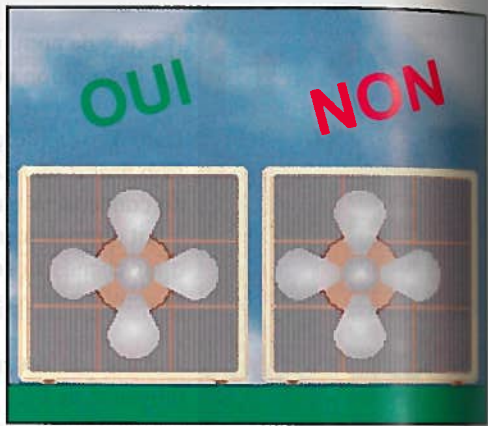
Quelle qu'en soit la raison, c'est un problème assez fréquent. Si les ailettes sont écrasées, la circulation d'air se fait beaucoup moins bien, ce qui entraîne une réduction du débit et donc une augmentation de la HP.

Évitez de nettoyer le condenseur avec un nettoyeur haute pression qui a la fâcheuse tendance d'écraser les ailettes.

Il faut alors repeigner soigneusement les parties écrasées à l'aide d'un peigne à batterie spécial (vendu dans le commerce) correspondant bien à l'écartement initial des ailettes (*voir page 293*).

L'hélice est mal positionnée par rapport au condenseur.

La position exacte de l'hélice par rapport au condenseur doit être rigoureusement respectée de sorte à conserver le débit d'air et les performances d'origine du ventilateur.



A la suite d'une intervention, si le moteur du ventilateur est remonté en étant désaxé par rapport au condenseur (aussi bien horizontalement que verticalement), une partie importante de la surface d'échange risque de ne plus être ventilée suffisamment par le flux d'air.

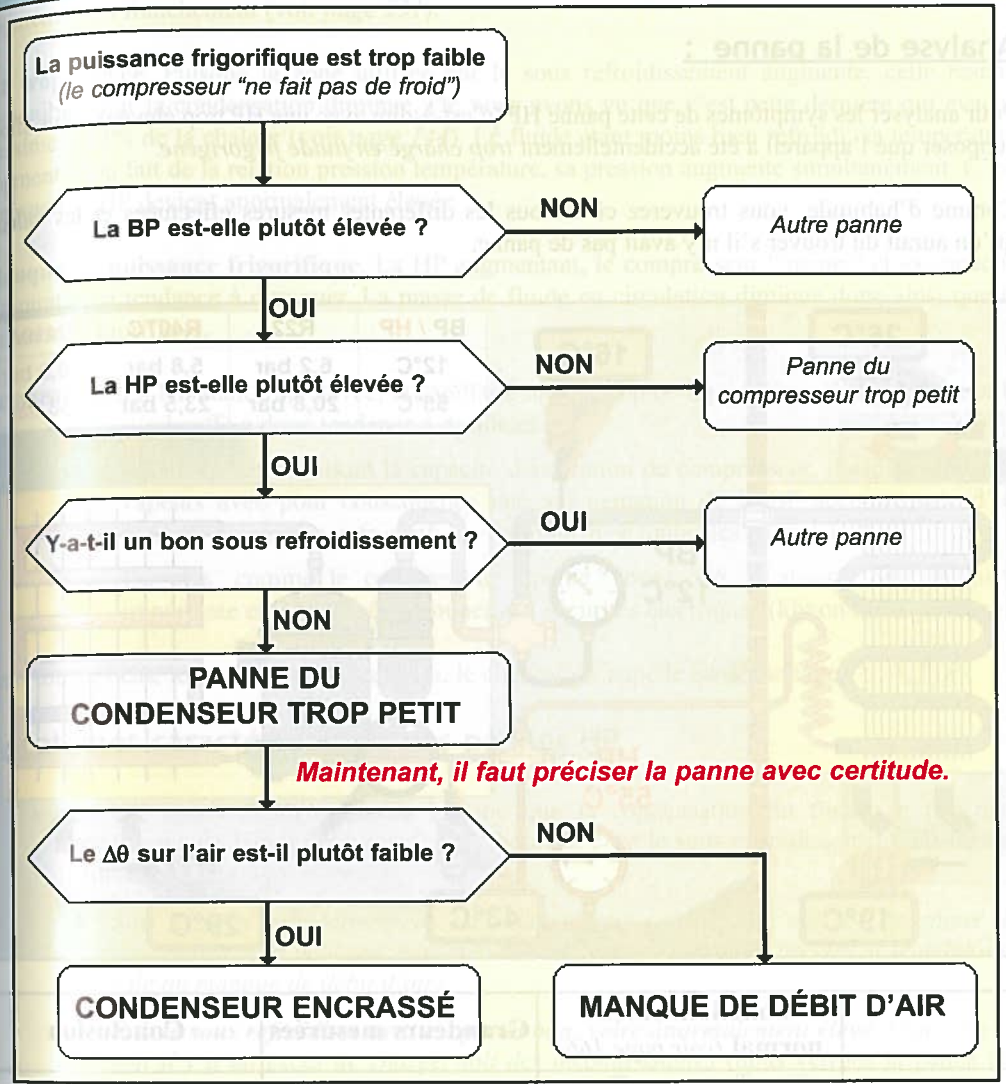
Cette réduction de la surface d'échange réelle du condenseur peut alors provoquer un manque de puissance ne permettant plus d'assurer une condensation normale.

Tirez-en la conclusion qu'au fur et à mesure du démontage d'un matériel, surtout lorsque vous ne le connaissez pas bien, prenez toujours des points de repère très précis et n'hésitez jamais à les noter et à faire des schémas (ou une photo avec votre téléphone mobile).

Cette précaution élémentaire permettrait souvent d'éviter bien des ennuis au moment du remontage, quel que soit le type de matériel.

Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

PANNE DU CONDENSEUR TROP PETIT : MÉTHODOLOGIE DU DIAGNOSTIC



Les pannes HP sont relativement simples à diagnostiquer :

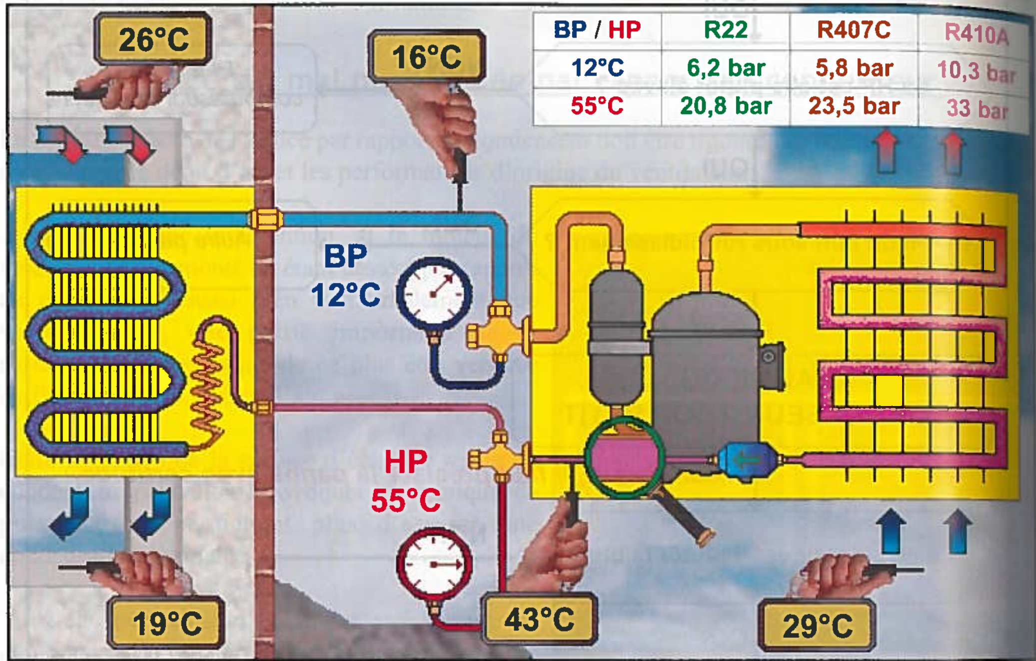
- **Un sous refroidissement médiocre indique la panne du condenseur trop petit (la plupart du temps, le condenseur est tout simplement « sale ») ce qu'un simple contrôle visuel permet d'apprécier (la mesure du débit d'air sur un condenseur à air équipé d'un ventilateur hélicoïde n'est pas fiable car la température mesurée peut varier de plusieurs degrés selon la position du thermomètre).**
- **Un sous refroidissement correct indique soit un excès de charge, soit une forte présence d'incondensables que seul le test des incondensables (voir page 324) permet de départager.**

LA PANNE DE L'EXCÈS DE CHARGE

Analyse de la panne :

Pour analyser les symptômes de cette panne HP (c'est-à-dire avec une HP trop élevée), nous allons supposer que l'appareil a été accidentellement *trop chargé en fluide frigorigène.*

Comme d'habitude, vous trouverez ci-dessous les différentes mesures effectuées et les valeurs qu'on aurait dû trouver s'il n'y avait pas de panne.



	Fonctionnement normal *(voir page 166)*	Grandeurs mesurées	Conclusion
BP	$T_0 = T_{ambiante} - \Delta T_{Total}$ $T_0 = 26 - 18 \approx 8°C$	$T_0 = 12°C$	BP élevée
HP	$T_K = T_{extérieure} + \Delta T_{Total}$ $T_K = 29 + 16 \approx 45°C$	$T_K = 55°C$	**HP trop élevée**
SC (surchauffe)	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $SC \approx 5$ à $10°C$	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $SC = 16 - 12 = 4°C$	Surchauffe plutôt faible
SR (sous refroid.)	$SR = T_K - T_{liquide}$ $SR \approx 4$ à $7°C$	$SR = T_K - T_{liquide}$ $SR = 55 - 43 = 12°C$	**Sous refroid. trop élevé**
Condenseur	Propre, ailettes en bon état	Inspection visuelle	Condenseur propre

Excès de charge : explication des symptômes.

Sous refroidissement trop élevé. Puisqu'il y a trop de fluide frigorigène dans l'installation, il y a énormément de liquide dans le bas du condenseur. C'est pourquoi le sous refroidissement augmente très franchement (voir *page 251*).

HP trop élevée. Puisque la zone utilisée par le sous refroidissement augmente, celle restant disponible pour la condensation diminue. Or, nous avons vu que c'est cette dernière qui évacue quasiment 75% de la chaleur (voir *page 144*). Le fluide étant moins bien refroidi, sa température augmente. Du fait de la relation pression température, sa pression augmente simultanément. C'est pourquoi la HP devient anormalement élevée.

Manque de puissance frigorifique. La HP augmentant, le compresseur " peine " et sa capacité d'aspiration a tendance à diminuer. La masse de fluide en circulation diminue donc ainsi que la puissance frigorifique.

Remarques : La HP étant trop élevée, le capillaire injecte trop de liquide dans l'évaporateur et la surchauffe a donc tendance à diminuer.

La HP élevée réduisant la capacité d'aspiration du compresseur, il aspire moins de vapeurs avec pour conséquence une augmentation de la BP accompagnée d'un manque de puissance frigorifique (comme avec toutes les pannes HP).

De plus, comme le compresseur " peine " beaucoup, il absorbe une intensité importante et il peut même couper aux sécurités électriques (klixon ou disjoncteur).

Dans tous les cas, le local étant mal refroidi, le client vous appelle en dépannage.

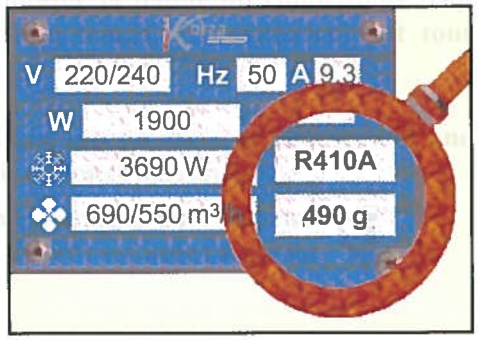
Symptômes caractéristiques des pannes HP.

- **Une HP anormalement élevée** indique que la condensation du fluide se fait mal. Avec les pannes HP, il n'y a que 2 hypothèses et c'est le sous refroidissement qui permet de trancher :
  - ***Soit le sous refroidissement est faible.*** *Dans ce cas, il s'agit de la panne du condenseur trop petit que nous avons étudié dans le chapitre précédent (condenseur sale ou manque de débit d'air).*
  - ***Soit le sous refroidissement est plutôt bon, voire anormalement élevé.*** *Dans ce cas, soit il y a un excès de charge, soit des incondensables* (nous verrons la panne des incondensables dans le chapitre suivant).

Pour rappel, le type et la quantité de réfrigérant à utiliser dans l'appareil sont toujours indiqués sur sa plaque signalétique.

Il faut impérativement que le type et la masse de fluide soient rigoureusement respectés.

Dans l'exemple ci-contre, l'appareil doit être chargé avec exactement 490 grammes de fluide R410A.



La charge en fluide frigorigène :

La charge d'un circuit frigorifique équipé d'un détendeur capillaire n'est facile à réaliser que si l'on dispose du matériel nécessaire. En effet :

- ***Si la charge en fluide est trop faible,*** le climatiseur manque de puissance frigorifique et le compresseur chauffe exagérément (voir panne du manque de charge, *page 284*).
- ***Si elle est trop importante,*** le compresseur fonctionne avec une HP trop élevée et en plus il risque d'être soumis régulièrement à des coups de liquide dévastateurs.

Le problème de la charge en fluide frigorigène est très largement abordé dans le Manuel du Dépanneur (du même auteur). Ce Manuel de 1387 pages en couleurs est entièrement consacré au dépannage frigorifique, électrique et hydraulique sur tous types d'installations. Il pourra vous permettre d'enrichir considérablement vos connaissances quand vous maîtriserez déjà bien celui-ci.

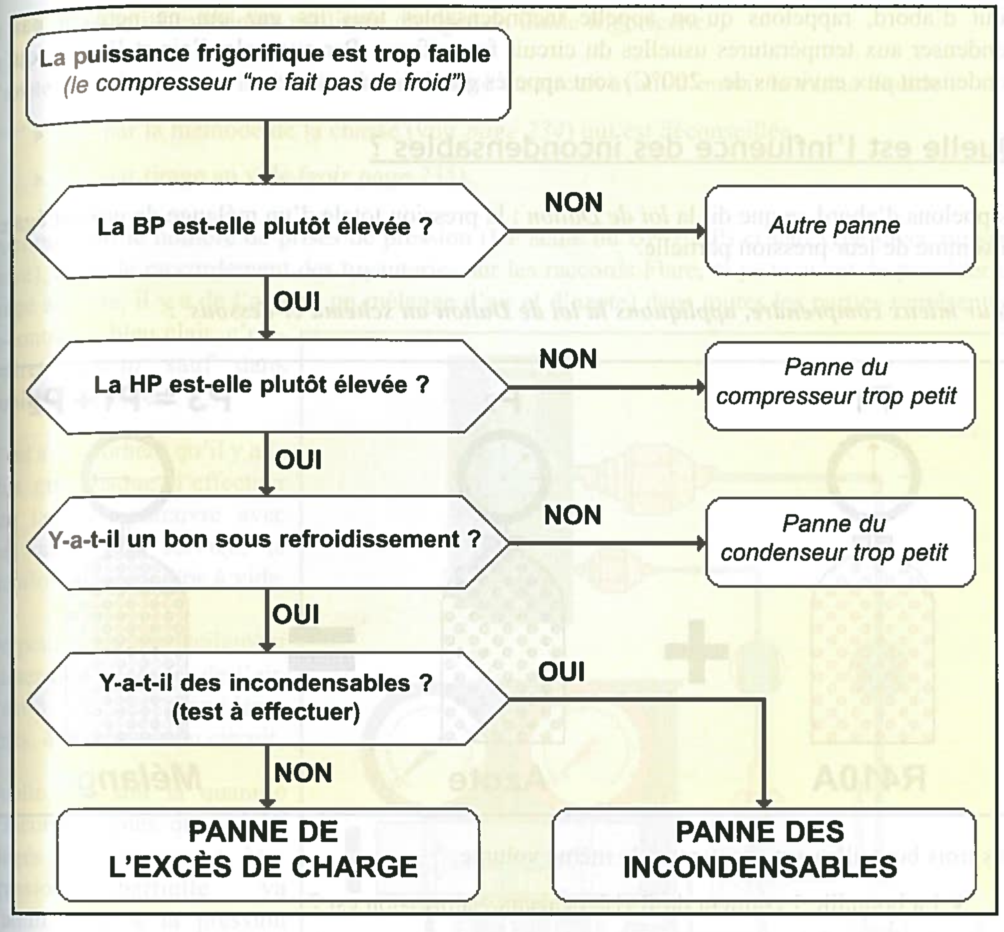
Pour rester dans le contexte de ce manuel d'initiation, disons que pour faire une charge rapidement et sans aucun risque, il faut utiliser une balance (le cylindre de charge, beaucoup utilisé dans le passé, est devenu obsolète) en respectant le type de fluide et la quantité exacte indiquée sur la plaque signalétique de l'appareil.

Dans notre cas, il faudra enlever toute la charge en fluide de l'installation à l'aide d'un groupe de récupération (voir page 415) puis recharger l'appareil avec la masse exacte de fluide frigorigène préconisée par le constructeur.

Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

Dépannage

PANNE DE L'EXCÈS DE CHARGE : MÉTHODOLOGIE DU DIAGNOSTIC



Les pannes provoquées par une HP trop importante sont relativement simples à diagnostiquer :

- **Un sous refroidissement médiocre indique la panne du condenseur trop petit, étudiée page 308 (la plupart du temps, le condenseur est tout simplement « sale »).**
- **Un sous refroidissement correct indique soit un excès de charge, soit une forte présence d'incondensables (voir chapitre suivant).**

Dépannage

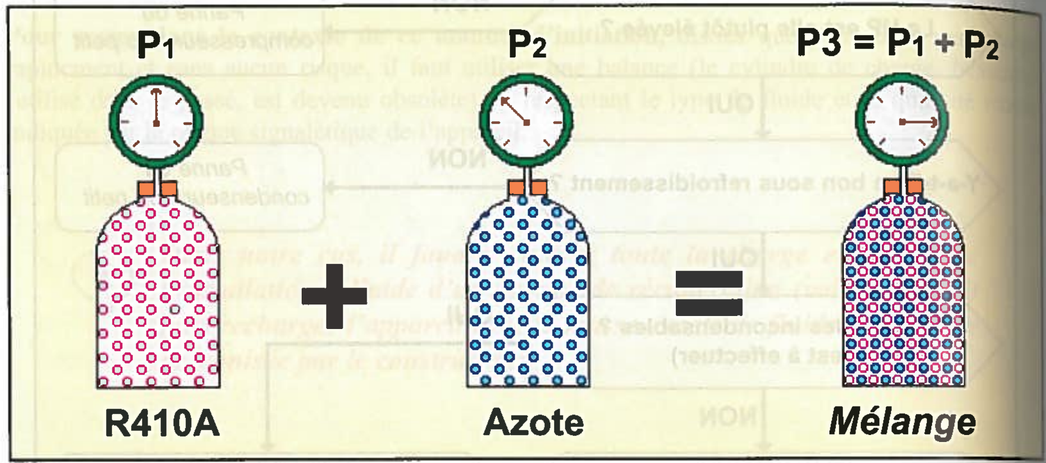
LA PANNE DES INCONDENSABLES

Tout d'abord, rappelons qu'on appelle incondensables tous les gaz qui ne peuvent pas se condenser aux températures usuelles du circuit frigorifique. Par exemple, l'air et l'azote (qui se condensent aux environs de –200°C) sont appelés *gaz incondensables.*

Quelle est l'influence des incondensables ?

Rappelons d'abord ce que dit la *loi de Dalton* : la pression totale d'un mélange de gaz est égale à la somme de leur pression partielle.

Pour mieux comprendre, appliquons la loi de Dalton au schéma ci-dessous :



Les trois bouteilles ont exactement le même volume.

- La bouteille 1 contient du R410A gazeux, sa pression est P_1.
- La bouteille 2 contient de l'azote gazeux, sa pression est P_2.

Si on introduit les deux gaz dans une 3ème bouteille (qui est vide), le manomètre P_3 indique une pression égale à $P_1 + P_2$.

A présent, examinons les conséquences de cette loi sur le circuit frigorifique.

S'il y a de l'azote ou de l'air dans un circuit, la pression partielle de ce gaz va s'additionner à celle du fluide frigorigène pour donner une pression totale supérieure à la relation pression température réelle du fluide.

Par exemple, un split chargé au R410A étant à l'arrêt depuis un bon moment avec une température extérieure de 20°C, le liquide est également à 20°C dans le condenseur : le manomètre HP devrait donc indiquer 13,5 bar. Mais, s'il y a l'équivalent de 2 bar d'azote piégé dans le circuit, le manomètre HP indiquera 13,5 + 2 = 15,5 bar. Nous en conclurons faussement que le liquide est à 25°C alors qu'il est en réalité à 20°C !

Comment des incondensables peuvent-ils pénétrer dans le circuit ?

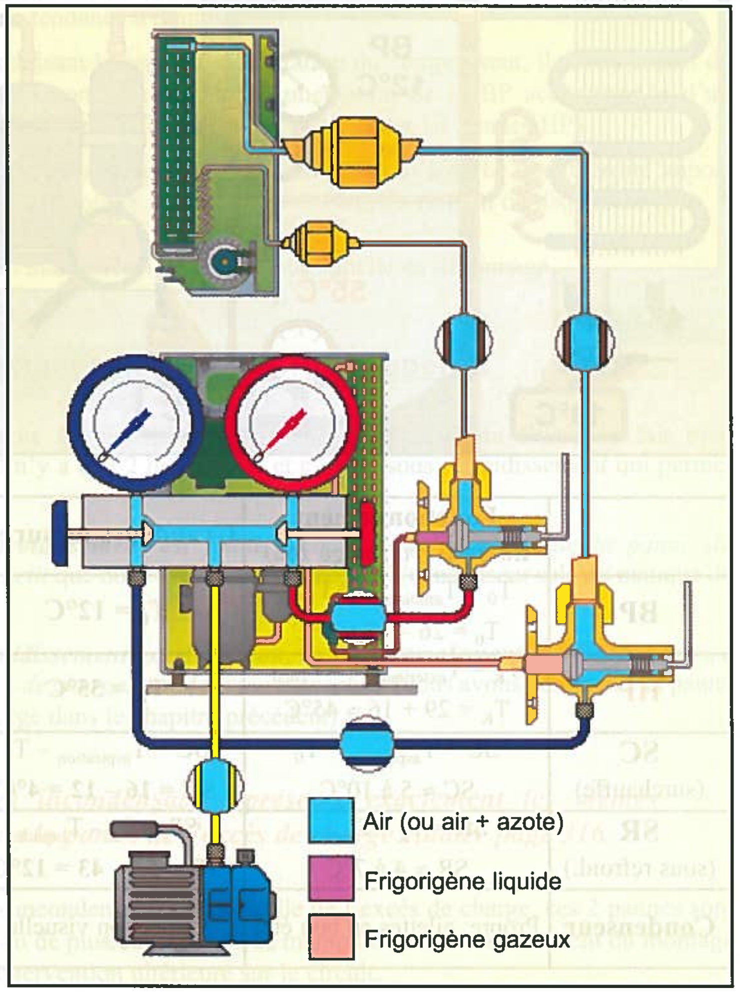
Lors du montage d'un appareil prévu pour des raccordements de type Flare, rappelons-nous :

- que l'unité intérieure est livrée préchargée en azote.
- que l'unité extérieure est livrée chargée en fluide frigorigène.

L'azote doit absolument être entièrement évacué du circuit avant d'ouvrir la vanne liquide :

- Soit par la méthode de la chasse (voir *page 234*) qui est déconseillée.
- Soit par tirage au vide (*voir page 235*).

Quel que soit le nombre de prises de pression (BP seule ou BP + HP) et leur type (avec ou sans valve), après le raccordement des tuyauteries sur les raccords Flare, et juste avant de procéder au tirage au vide, il y a de l'air (ou un mélange d'air et d'azote) dans toutes les parties représentées ci-contre en bleu clair, c'est-à-dire *partout* sauf dans l'unité extérieure !.



C'est à ce moment qu'il y a le plus gros risque d'effectuer une fausse manœuvre avec les vannes de service, le manifold ou la pompe à vide.

On peut alors très facilement laisser de l'azote ou de l'air, c'est-à-dire des incondensables, à l'intérieur du circuit.

Quelle que soit la quantité d'incondensables qui restent piégés dans le circuit, leur pression partielle va s'additionner à la pression normale de fonctionnement du climatiseur.

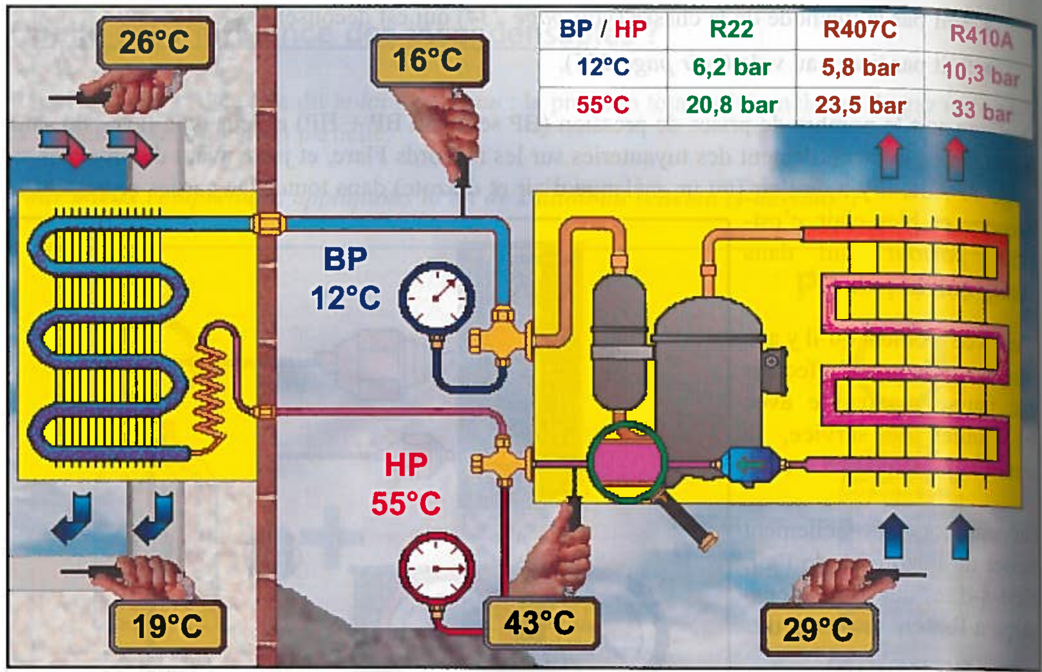
Mais attention, nous verrons que de l'air peut également être introduit accidentellement lors d'interventions ultérieures, par exemple en rechargeant l'installation en fluide frigorigène ou en remplaçant un appareil.

Alors, respectez scrupuleusement les procédures d'intervention afin d'éviter ce genre d'erreurs !

Analyse de la panne :

Imaginons que l'installateur du circuit ci-dessous n'avait ni pompe à vide en état de marche (voir *page 235*), ni les compétences nécessaires pour purger exceptionnellement l'air et l'azote par la méthode de la chasse (voir *page 234*). Le circuit est donc rempli d'incondensables !

Essayez d'analyser tout seul les différentes mesures effectuées avec cette panne HP.



	Fonctionnement normal (*voir page 166*)	Grandeurs mesurées	Conclusion
BP	$T_0 = T_{ambiante} - \Delta T_{Total}$ $T_0 = 26 - 18 \approx 8°C$	$T_0 = 12°C$	**BP élevée**
HP	$T_K = T_{extérieure} + \Delta T_{Total}$ $T_K = 29 + 16 \approx 45°C$	$T_K = 55°C$	**HP trop élevée**
SC (surchauffe)	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $SC \approx 5$ à $10°C$	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $SC = 16 - 12 = 4°C$	Surchauffe plutôt faible
SR (sous refroid.)	$SR = T_K - T_{liquide}$ $SR \approx 4$ à $7°C$	$SR = T_K - T_{liquide}$ $SR = 55 - 43 = 12°C$	**Sous refroid. trop élevé**
Condenseur	Propre, ailettes en bon état	Inspection visuelle	Condenseur propre

Si vous jetez un coup d'œil aux relevés effectués avec la panne de l'excès de charge (page 316), vous constaterez que le tableau est rigoureusement identique à celui-ci : ces 2 pannes présentent exactement les mêmes symptômes.

Panne des incondensables : explication des symptômes.

Sous refroidissement trop élevé. Comme nous l'avons vu *page 320*, le manomètre HP indique une température bien supérieure à la température réelle du palier de condensation. C'est pourquoi la mesure du sous refroidissement donne une valeur ***en apparence*** aussi élevée.

HP trop élevée. En vertu de la loi de Dalton, la pression partielle des incondensables s'additionne à la pression partielle du fluide frigorigène. C'est pourquoi le manomètre indique une HP anormalement élevée par rapport à la température extérieure.

Manque de puissance frigorifique. La HP augmentant, le compresseur " peine " et sa capacité d'aspiration a tendance à diminuer. La masse de fluide en circulation diminue donc ainsi que la puissance frigorifique.

Remarques : La HP étant trop élevée, le capillaire injecte trop de liquide dans l'évaporateur et la surchauffe a donc tendance à diminuer.

La HP élevée réduisant la capacité d'aspiration du compresseur, il aspire moins de vapeurs avec pour conséquence une augmentation de la BP accompagnée d'un manque de puissance frigorifique (comme avec toutes les pannes HP).

De plus, comme le compresseur " peine " beaucoup, il absorbe une intensité importante et il peut même couper aux sécurités électriques (klixon ou disjoncteur).

Dans tous les cas, le local étant mal refroidi, le client vous appelle en dépannage.

Symptômes caractéristiques des pannes HP (rappel).

- **Une HP anormalement élevée** indique que la condensation du fluide se fait mal. Avec les pannes HP, il n'y a que 2 hypothèses et c'est le sous refroidissement qui permet de trancher :
  - ***Soit le sous refroidissement est faible.*** *Dans ce cas, il s'agit de la panne du condenseur trop petit* que nous avons étudié *page 308* (condenseur sale ou manque de débit d'air).
  - ***Soit le sous refroidissement est plutôt bon, voire anormalement élevé.*** Dans ce cas, *soit il y a un excès de charge, soit des incondensables* (nous avons commenté la panne de l'excès de charge dans le chapitre précédent).

La panne des incondensables présente exactement les mêmes symptômes que la panne de l'excès de charge étudiée page 316.

Qu'il s'agisse de la panne des incondensables ou de celle de l'excès de charge, ces 2 pannes sont la conséquence directe d'une ou de plusieurs erreurs de manipulation, soit au moment du montage de l'appareil, soit lors d'une intervention ultérieure sur le circuit.

Normalement, pour différencier ces 2 pannes, il faudrait réaliser un test appelé " test des incondensables "...

Dans la pratique, sur les petits climatiseurs de confort, que la panne provienne d'un excès de charge ou d'une présence d'incondensables, la conduite à tenir est rigoureusement la même : il faut vider la totalité du fluide contenu dans l'installation puis recharger avec la masse exacte prévue par le constructeur.

Alors, laissons tomber le test !

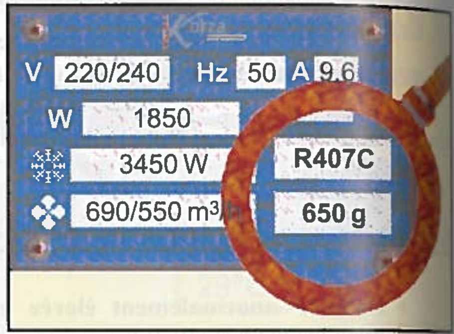
Dans les 2 cas, il faudra :

- Récupérer la totalité du fluide à l'aide d'un groupe de récupération (voir *page 363*).
- Effectuer si possible un test préventif d'acidité de l'huile.
- Tirer au vide le circuit frigorifique afin d'enlever toute trace d'incondensable.
- Recharger le circuit en respectant les indications du constructeur.
- Terminer l'opération par les contrôles d'étanchéité et de fonctionnement.

Pour rappel, le type et la quantité de réfrigérant à utiliser dans l'appareil sont toujours indiqués sur sa plaque signalétique.

Il faut impérativement que le type et la masse de fluide soient rigoureusement respectés.

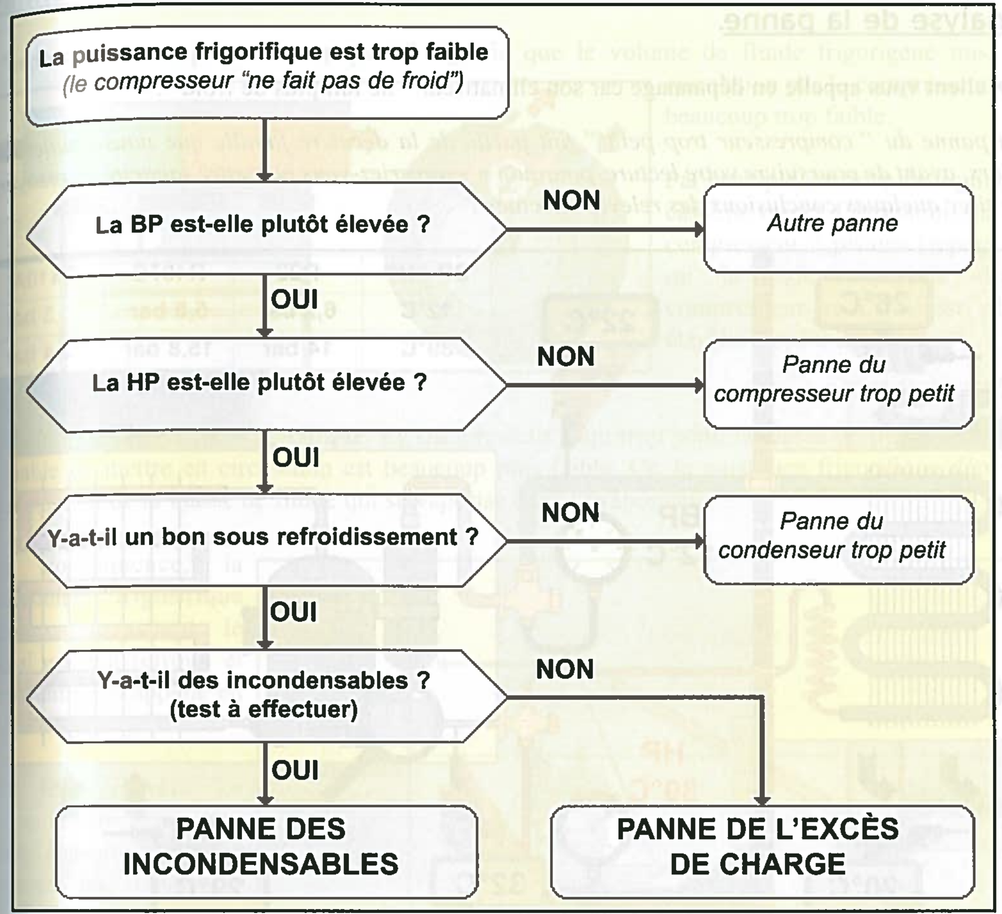
Dans l'exemple ci-contre, l'appareil doit être chargé avec exactement 650 grammes de R407C.



Il n'est pas inutile de rappeler que le R407C est un mélange de 3 fluides différents et que pour tous les mélanges, la charge en fluide doit obligatoirement se faire en liquide.

Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

PANNE DES INCONDENSABLES : MÉTHODOLOGIE DU DIAGNOSTIC



Les pannes provoquées par une HP trop importante sont relativement simples à diagnostiquer :

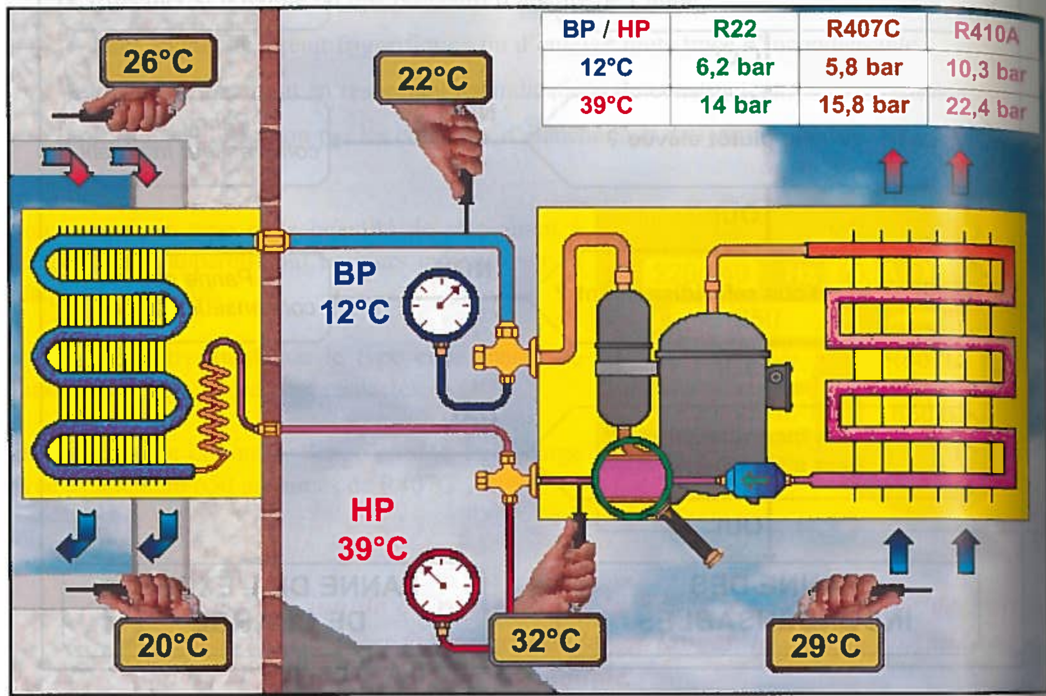
- **Un sous refroidissement médiocre indique la panne du condenseur trop petit qui a été étudiée page 308 (la plupart du temps, le condenseur est tout simplement « sale »).**
- **Un sous refroidissement correct indique soit un excès de charge, soit une forte présence d'incondensables que seul le test des incondensables permet de départager (sur les petits climatiseurs, le test est inutile. Il faut utiliser la démarche décrite page précédente).**

LA PANNE DU COMPRESSEUR TROP PETIT

Analyse de la panne.

Un client vous appelle en dépannage car son climatiseur “ ne fait plus de froid ”.

La panne du “ compresseur trop petit ” fait partie de la dernière famille que nous étudierons. Alors, avant de poursuivre votre lecture, pourquoi n'exerceriez-vous pas votre sagacité en essayant de tirer quelques conclusions des relevés effectués ?



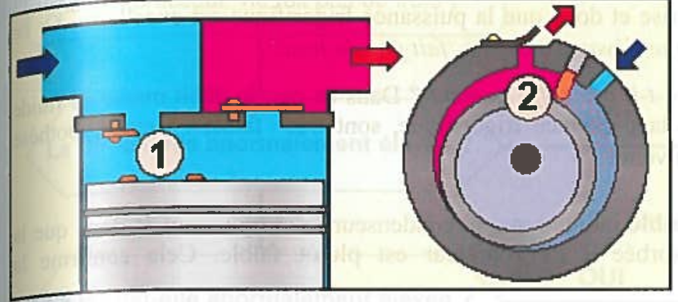
BP / HP	R22	R407C	R410A
12°C	6,2 bar	5,8 bar	10,3 bar
39°C	14 bar	15,8 bar	22,4 bar

	Fonctionnement normal *(voir page 166)*	Grandeurs mesurées	Conclusion
BP	$T_0 = T_{ambiante} - \Delta T_{Total}$ $T_0 = 26 - 18 \approx 8°C$	$T_0 = 12°C$	**BP élevée**
HP	$T_K = T_{extérieure} + \Delta T_{Total}$ $T_K = 29 + 16 \approx 45°C$	$T_K = 39°C$	**HP faible**
SC (surchauffe)	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $SC \approx 5$ à 10°C	$SC = T_{aspiration} - T_0$ $SC = 22 - 12 = 10°C$	Surchauffe très légèrement élevée
SR (sous refroid.)	$SR = T_K - T_{liquide}$ $SR \approx 4$ à 7°C	$SR = T_K - T_{liquide}$ $SR = 39 - 32 = 7°C$	Sous refroid. correct
$\Delta T_{air\ évapo}$	$\Delta T_{air\ évapo} \approx 8$ à 10°C en grande vitesse	$\Delta T_{air\ évapo} = 26 - 20$ $\Delta T_{air\ évapo} = 6°C$	ΔT sur l'air à l'évaporateur faible

La panne du compresseur trop petit n'est ni une panne BP (la BP n'est pas faible), ni une panne HP (la HP n'est pas élevée). C'est la seule donnant simultanément une BP élevée et une HP faible.

Panne du compresseur trop petit : explication des symptômes.

L'expression “ compresseur trop petit ” signifie que le volume de fluide frigorigène mis en circulation par le compresseur est beaucoup trop faible.



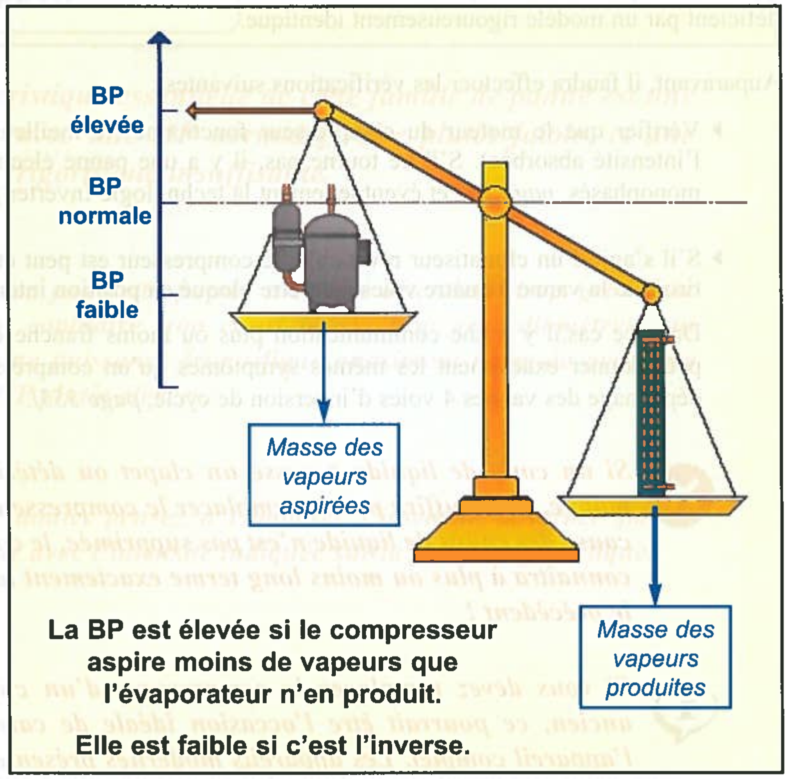
Par exemple, un coup de liquide a cassé un clapet d'aspiration sur un compresseur à pistons (repère **1**) ou la palette mobile d'un compresseur rotatif n'est plus étanche (repère **2**).

Manque de puissance frigorifique. Le compresseur étant trop petit, la masse de fluide qu'il est capable de mettre en circulation est beaucoup plus faible. Or, la puissance frigorifique dépend directement de la masse de fluide qui se vaporise dans l'évaporateur.

En conséquence, la puissance frigorifique diminue fortement, le local est mal refroidi et le client vous appelle en dépannage.

BP trop élevée. Le compresseur étant trop petit, il aspire moins de vapeurs que l'évaporateur n'en produit. C'est pourquoi le BP devient anormalement élevée (voir *page 269*).

HP trop faible. La puissance frigorifique étant faible, la quantité de chaleur rejetée au condenseur diminue fortement. Tout se passe donc comme si le condenseur devenait surpuissant.



Le liquide est alors bien mieux refroidi et la température du palier de condensation diminue. Du fait de la relation pression température du fluide frigorigène, la HP diminue donc obligatoirement.

Symptômes caractéristiques.

- **Une BP anormalement élevée** indique que le compresseur aspire moins de vapeurs que l'évaporateur n'en produit. *Pour trouver la panne, il faut trouver la raison du déséquilibre entre la quantité de vapeurs aspirées par le compresseur et la quantité de vapeurs produites à l'évaporateur. Il y a 2 hypothèses :*
  - *L'évaporateur produit-il trop de vapeurs ?* Si c'est le cas, c'est qu'il y a énormément de liquide qui s'y vaporise et donc que la puissance frigorifique est excellente. *Or ce n'est pas possible puisque l'évaporateur ne 'fait pas de froid'.*
  - *Le compresseur n'aspire-t-il pas suffisamment ?* Dans ce cas, le débit masse de fluide en circulation, et donc la puissance frigorifique, sont très faibles. Cette hypothèse semble parfaitement convenir.
- **Une HP anormalement faible** indique que le condenseur est surpuissant et donc que la puissance frigorifique absorbée à l'évaporateur est plutôt faible. Cela confirme la précédente hypothèse.

Panne du compresseur trop petit : aspect pratique.

Les compresseurs utilisés en climatisation de confort, quelle que soit leur technologie, sont tous de type hermétique et donc irréparables. La seule chose à faire est alors de remplacer le compresseur déficient par un modèle rigoureusement identique.

Auparavant, il faudra effectuer les vérifications suivantes :

- Vérifier que le moteur du compresseur fonctionne (le meilleur moyen est de mesurer l'intensité absorbée). S'il ne tourne pas, il y a une panne électrique (voir : les moteurs monophasés, *page 364* et éventuellement la technologie Inverter *page 389).*
- S'il s'agit d'un climatiseur réversible, le compresseur est peut être en parfait état mais le tiroir de la vanne à quatre voies peut être bloqué en position intermédiaire.

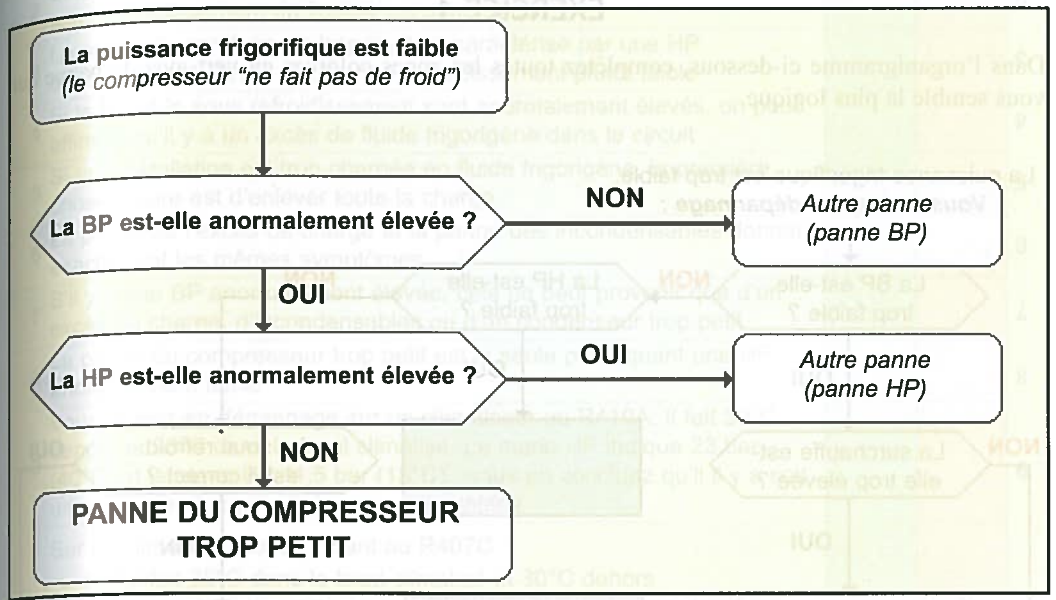
  Dans ce cas,il y a une communication plus ou moins franche entre la HP et la BP qui peut donner exactement les mêmes symptômes qu'un compresseur trop petit (voir : le dépannage des vannes 4 voies d'inversion de cycle, *page 353).*

Si un coup de liquide a cassé un clapet ou détérioré une palette mobile, il ne suffira pas de remplacer le compresseur. En effet, si la cause des coups de liquide n'est pas supprimée, le compresseur neuf connaîtra à plus ou moins long terme exactement le même sort que le précédent !

Si vous devez remplacer le compresseur d'un climatiseur plutôt ancien, ce pourrait être l'occasion idéale de carrément changer l'appareil complet. Les appareils modernes présentent énormément d'avantages par rapport aux vieux modèles : à vous de convaincre votre client, d'autant plus que la différence de prix entre les 2 interventions risque d'être minime.

Dépannage

PANNE DU COMPRESSEUR TROP PETIT : MÉTHODOLOGIE DU DIAGNOSTIC



La caractéristique essentielle de cette famille de panne est une BP élevée avec une HP normale, voire plutôt faible, et une puissance frigorifique insuffisante.

Ne confondez pas cette panne avec un détendeur trop gros (par exemple un capillaire trop court ou de trop gros diamètre), qui donnerait une puissance frigorifique quasiment normale avec une BP et une HP plutôt élevées.

En cas de doute, pensez à comparer l'intensité absorbée par le compresseur avec l'intensité indiquée sur la plaque signalétique.

Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

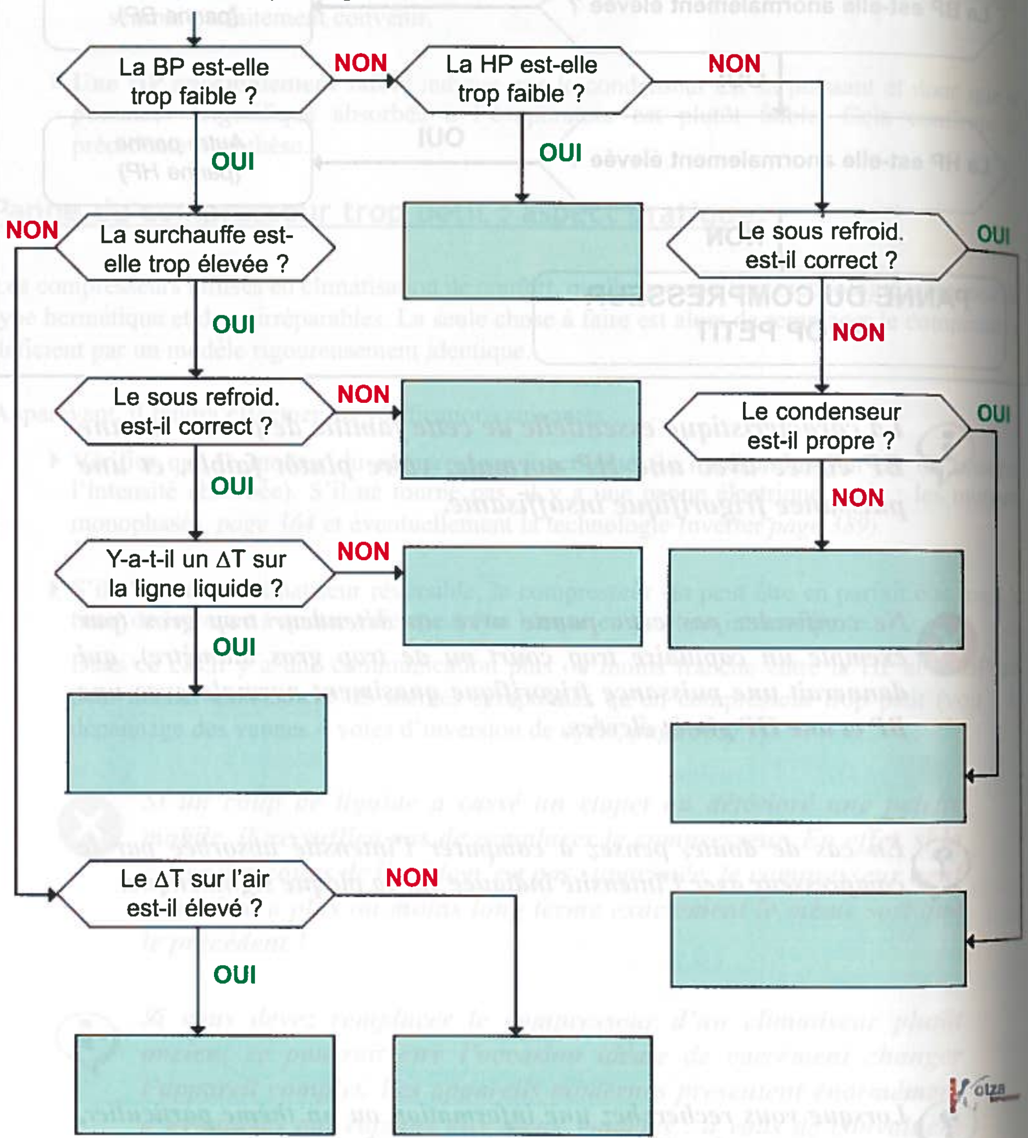
Dépannage

RÉCAPITULATIF DES PRINCIPALES PANNES FRIGORIFIQUES.

EXERCICE 1

Dans l'organigramme ci-dessous, complétez toutes les zones colorées en vert avec la panne qui vous semble la plus logique.

La puissance frigorifique est trop faible.
Vous arrivez en dépannage :



Correction page 332.

EXERCICE DE SYNTHÈSE n°23 : Ces affirmations sont-elles exactes ?

		VRAI	FAUX	
1	Si le manomètre HP indique que le palier de condensation se produit à 50°C, on peut affirmer qu'il y a une panne HP			1
2	Si la température de la ligne liquide est de 45°C, on peut affirmer que le sous refroidissement du liquide est plutôt faible			2
3	La panne du condenseur trop petit se caractérise par une HP anormalement élevée et un sous refroidissement plutôt faible			3
4	Si la HP et le sous refroidissement sont anormalement élevés, on peut affirmer qu'il y a un excès de fluide frigorigène dans le circuit			4
5	Si une installation est trop chargée en fluide frigorigène, la première chose à faire est d'enlever toute la charge			5
6	La panne de l'excès de charge et la panne des incondensables donnent exactement les mêmes symptômes			6
7	S'il y a une BP anormalement élevée, cela ne peut provenir que d'un excès de charge, d'incondensables ou d'un condenseur trop petit			7
8	La panne du compresseur trop petit est la seule provoquant une HP anormalement faible			8
9	Vous arrivez en dépannage sur un climatiseur au R410A. Il fait 30°C dehors et 28°C dans le local climatisé. Le mano HP indique 23 bar (40°C) et le mano BP 11,5 bar (15°C) : vous en concluez qu'il il y a soit un excès de charge soit des incondensables			9
10	Sur un climatiseur fonctionnant au R407C : ▸ S'il fait 25°C dans le local climatisé et 30°C dehors ▸ Si le manomètre BP indique 5,8 bar *(soit une température de bulle = 6°C et une température de rosée = 12°C)* ▸ Si le manomètre HP indique 15,5 bar *(soit une température de bulle = 38°C et une température de rosée = 43°C)* On peut légitimement penser que le climatiseur fonctionne correctement			10

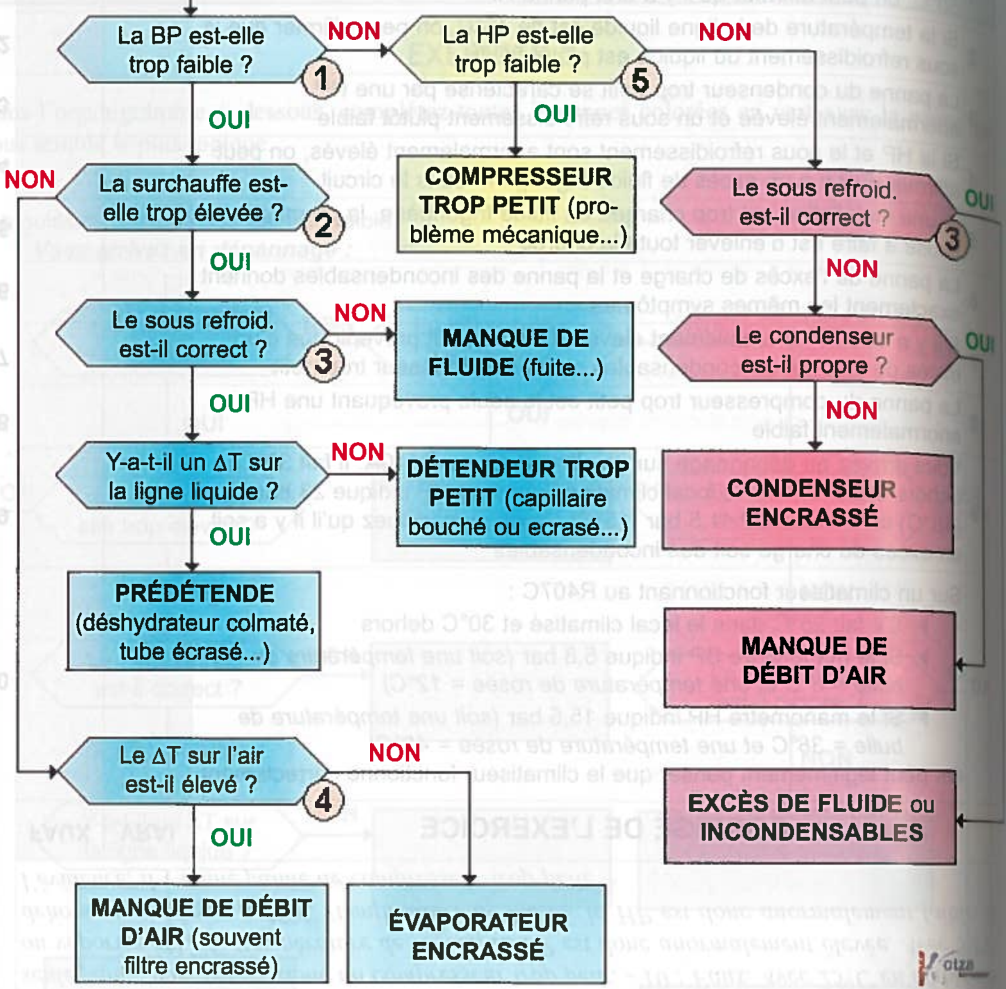
CORRIGÉ DE L'EXERCICE

1 : Faux. Le palier de condensation se produit environ 15°C au-dessus de la température de l'air à l'entrée du condenseur. S'il fait 35°C dehors une HP de 50°C est absolument normale. - 2 : Faux. On ne peut rien affirmer du tout. Avec une ligne liquide à 45°C le sous refroidissement est nul si on condense à 45°C mais il est excellent si on condense à 52°C ! - 3 : Vrai. C'est du reste la seule panne HP produisant un sous refroidissement faible. - 4 : Faux. Il peut y avoir soit un excès de charge soit une forte présence d'incondensables. - 5 : Vrai. Il faut d'abord enlever toute la charge à l'aide d'un groupe de récupération puis recharger l'appareil avec la masse exacte de fluide préconisée par le constructeur. - 6 : Vrai. Et dans les 2 cas, les opérations à effectuer sont identiques. - 7 : Faux. Cela peut également provenir d'un compresseur trop petit mais dans ce cas la HP serait faible alors qu'elle serait élevée avec les 3 autres propositions. - 8 : Faux. S'il est exact qu'un compresseur trop petit a pour conséquence une HP faible, n'oubliez pas que toutes les pannes BP étudiées (prédétente, détendeur trop petit, manque de fluide, évaporateur trop petit) ont également pour conséquence une HP faible ! - 9 : Faux. Avec 30°C dehors on condense à 40°C (la HP est donc plutôt faible). Avec 28°C dans le local, on vaporise à 15°C (la BP est donc plutôt élevée). La seule panne possible est donc un compresseur trop petit. - 10 : Faux. Avec 25°C en ambiance on vaporise à 12°C (température de rosée), la BP est donc anormalement élevée. Avec 30°C dehors on condense à 38°C (température de bulle), la HP est donc anormalement faible. A l'évidence, il y a une panne de compresseur trop petit.

CORRECTION DE L'EXERCICE 1

La puissance frigorifique est trop faible.

Vous arrivez en dépannage :



(1) Le ΔT total à l'évaporateur est généralement de 16 à 20°C (voir *page 174*). Une BP de 8°C est donc absolument correcte avec de l'air à 26°C (ΔT total = 18°C), trop faible si l'air est à 30°C (ΔT total = 22°C) et trop élevée si l'air est à 20°C (ΔT total = 12°C).

(2) Avec un détendeur capillaire, la surchauffe peut être variable. Cependant, elle devrait se maintenir dans une fourchette comprise entre 5 et 10°C.

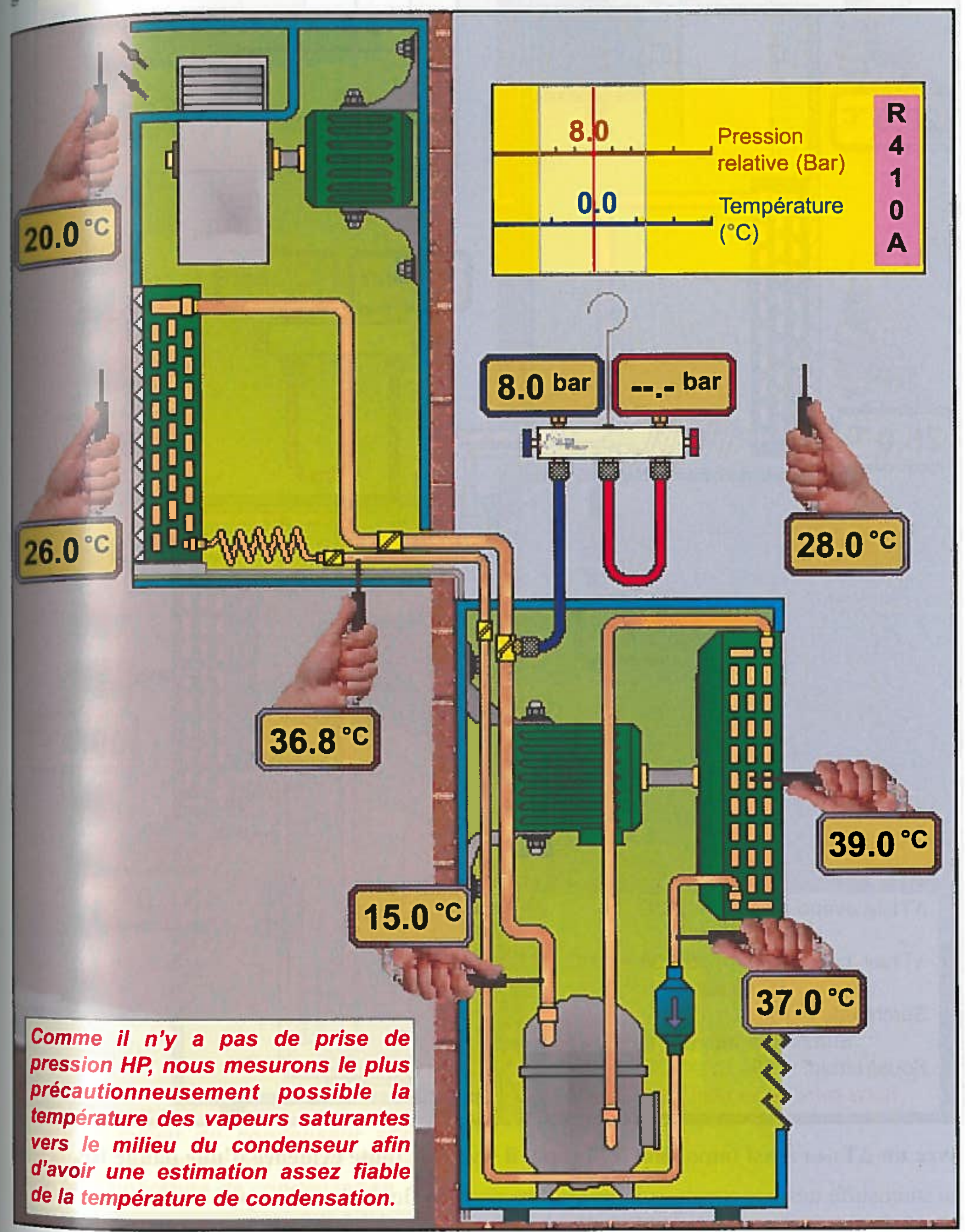
(3) *Sur la plupart des appareils,* le sous refroidissement devrait se maintenir dans une fourchette d'environ 4 à 7°C.

(4) *En grande vitesse de ventilation,* le ΔT sur l'air à l'évaporateur est généralement de l'ordre de 8 à 10°C, le compresseur étant à pleine puissance.

(5) Le ΔT total au condenseur peut être compris entre 10 à 20°C, mais le plus souvent il se situe autour de 15°C (voir *page 174*). Une HP de 45°C est donc absolument correcte avec de l'air à 30°C (ΔT total = 15°C), trop faible si l'air est à 36°C (ΔT total = 9°C) et trop élevée si l'air est à 20°C (ΔT total = 25°C).

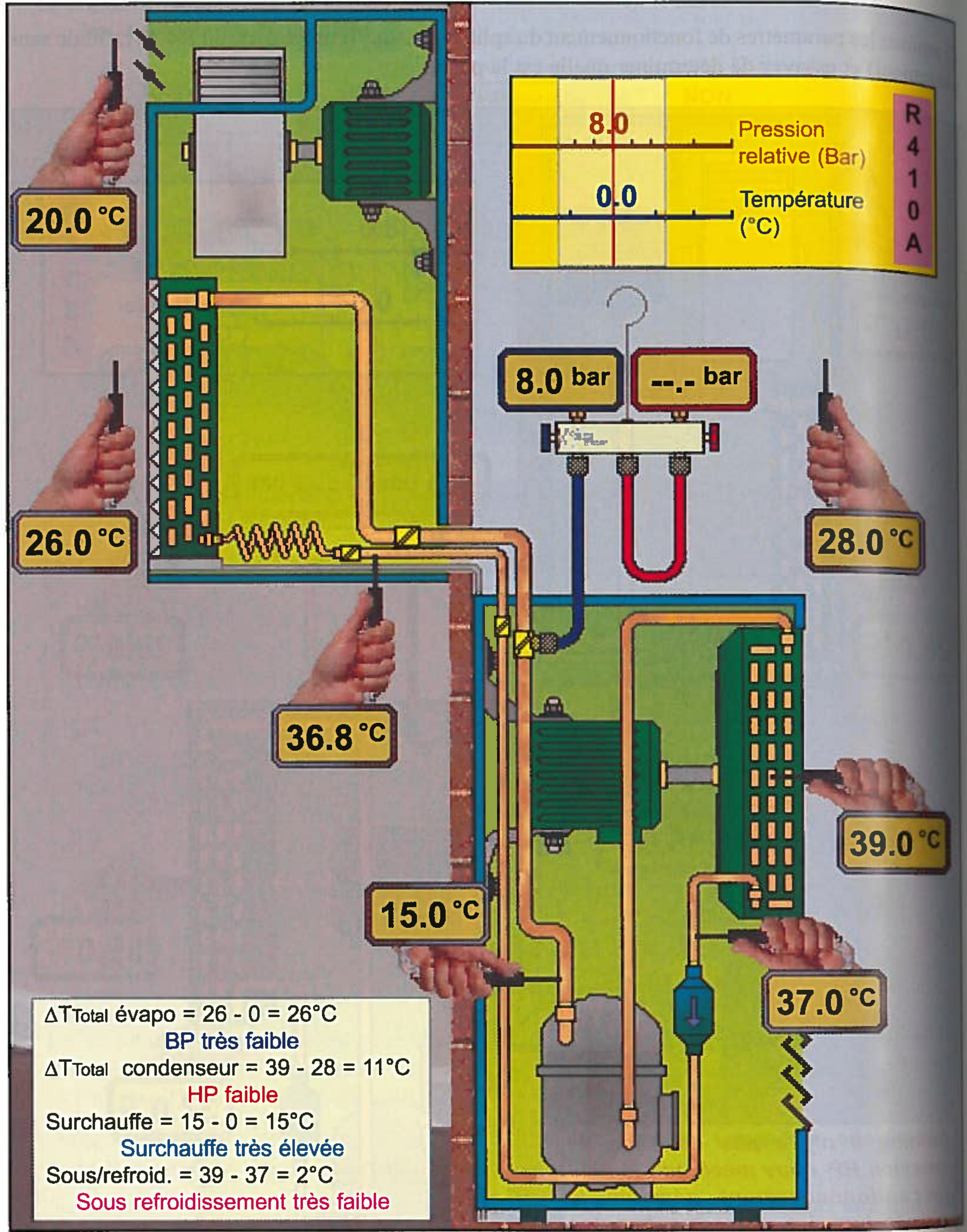
EXERCICE 2

Examinez les paramètres de fonctionnement du split ci-dessous (chargé avec du R410A, fluide sans glissement) et essayez de déterminer quelle est la panne.



Correction page 334.

CORRECTION DE L'EXERCICE 2



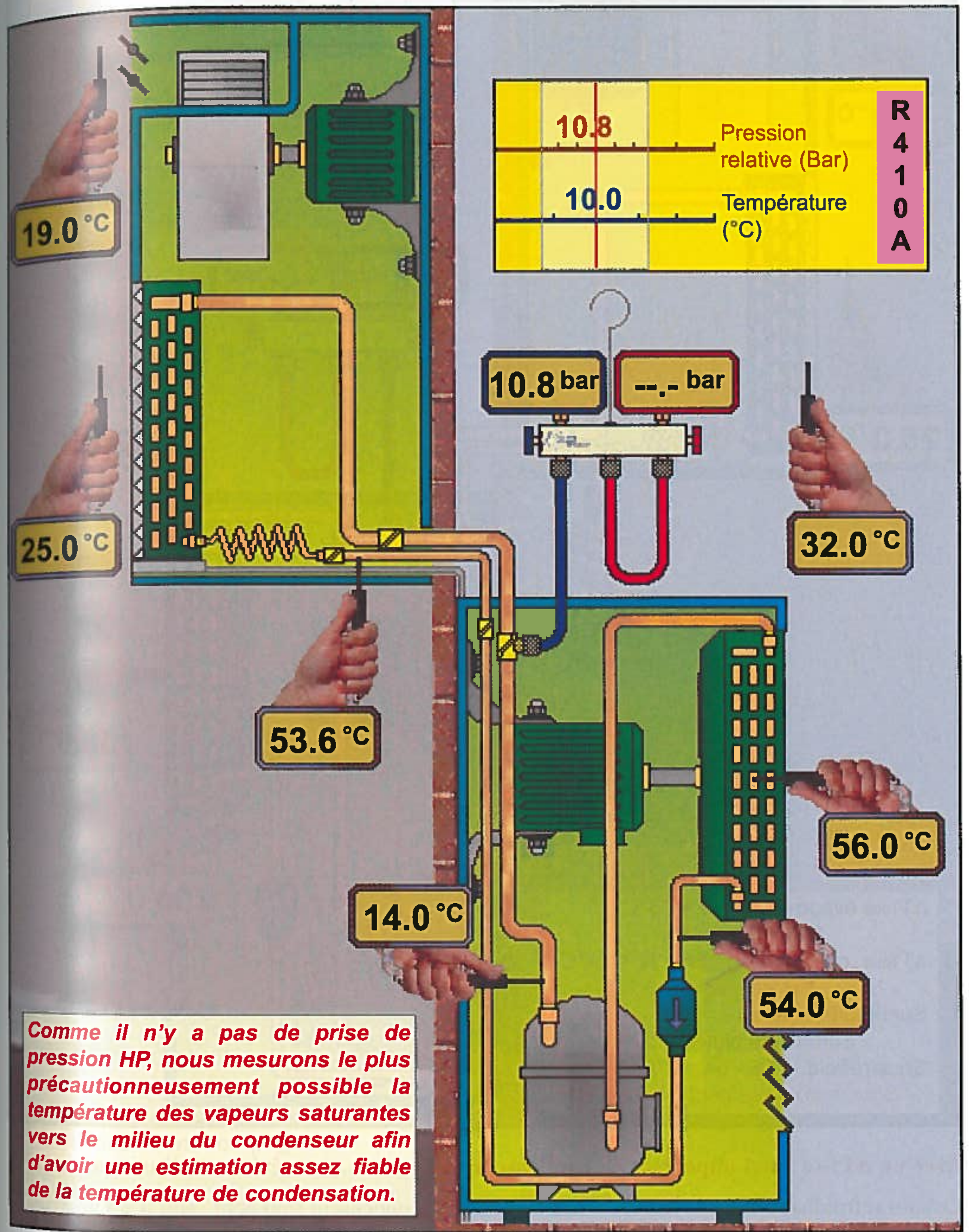
Avec un ΔT_{Total} aussi important à l'évapo, il s'agit de toute évidence d'une panne BP.

La surchauffe très importante indique qu'il manque du fluide dans l'évapo.
Le sous refroidissement très faible indique qu'il manque du fluide dans le condenseur.

Puisqu'il manque du fluide à la fois dans l'évapo et dans le condenseur, il s'agit sans aucun doute d'un manque de charge en fluide.

EXERCICE 3

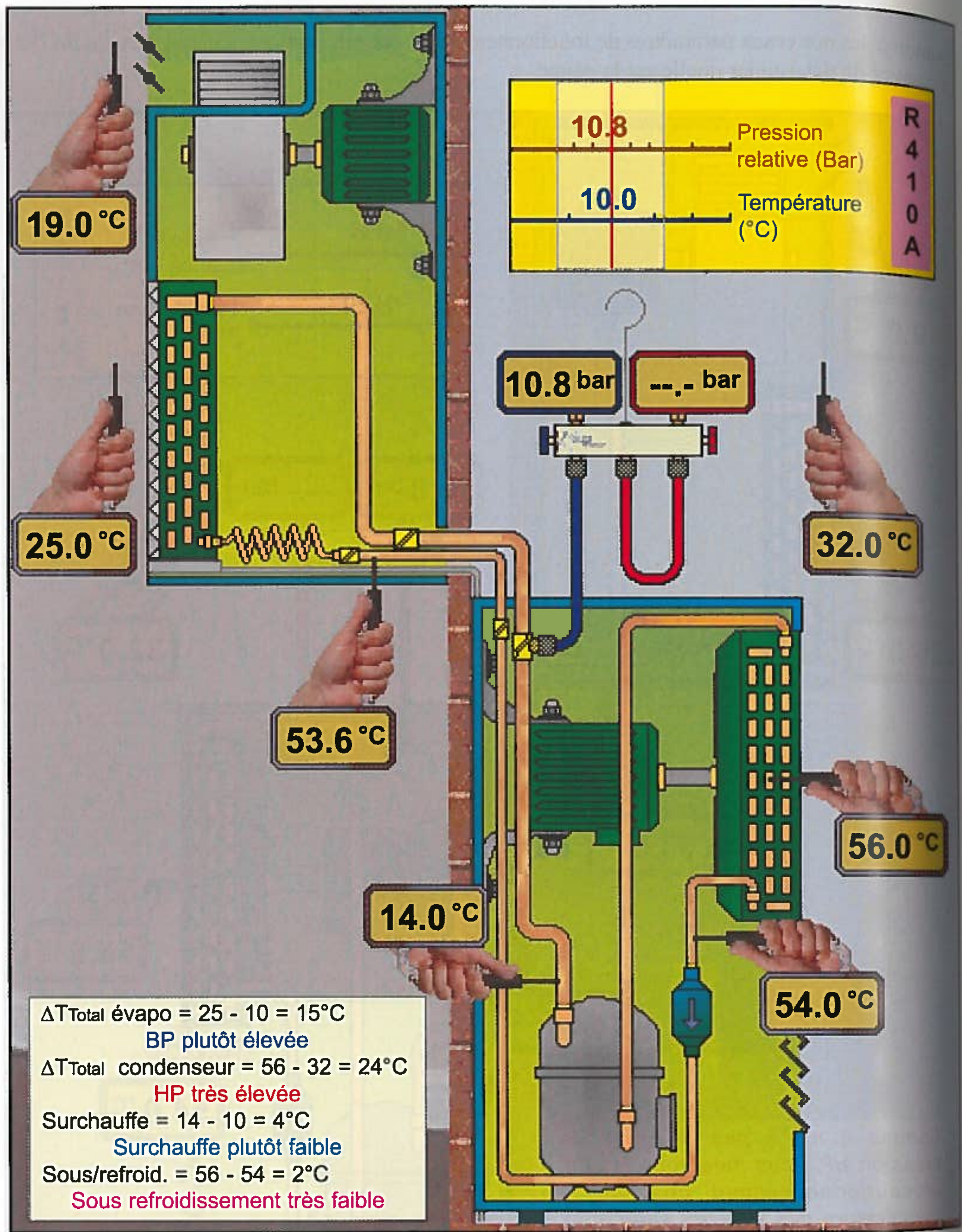
Examinez les nouveaux paramètres de fonctionnement de ce split (toujours chargé avec du R410A) et essayez de déterminer quelle est la panne.



Correction page 336.

Dépannage

CORRECTION DE L'EXERCICE 3



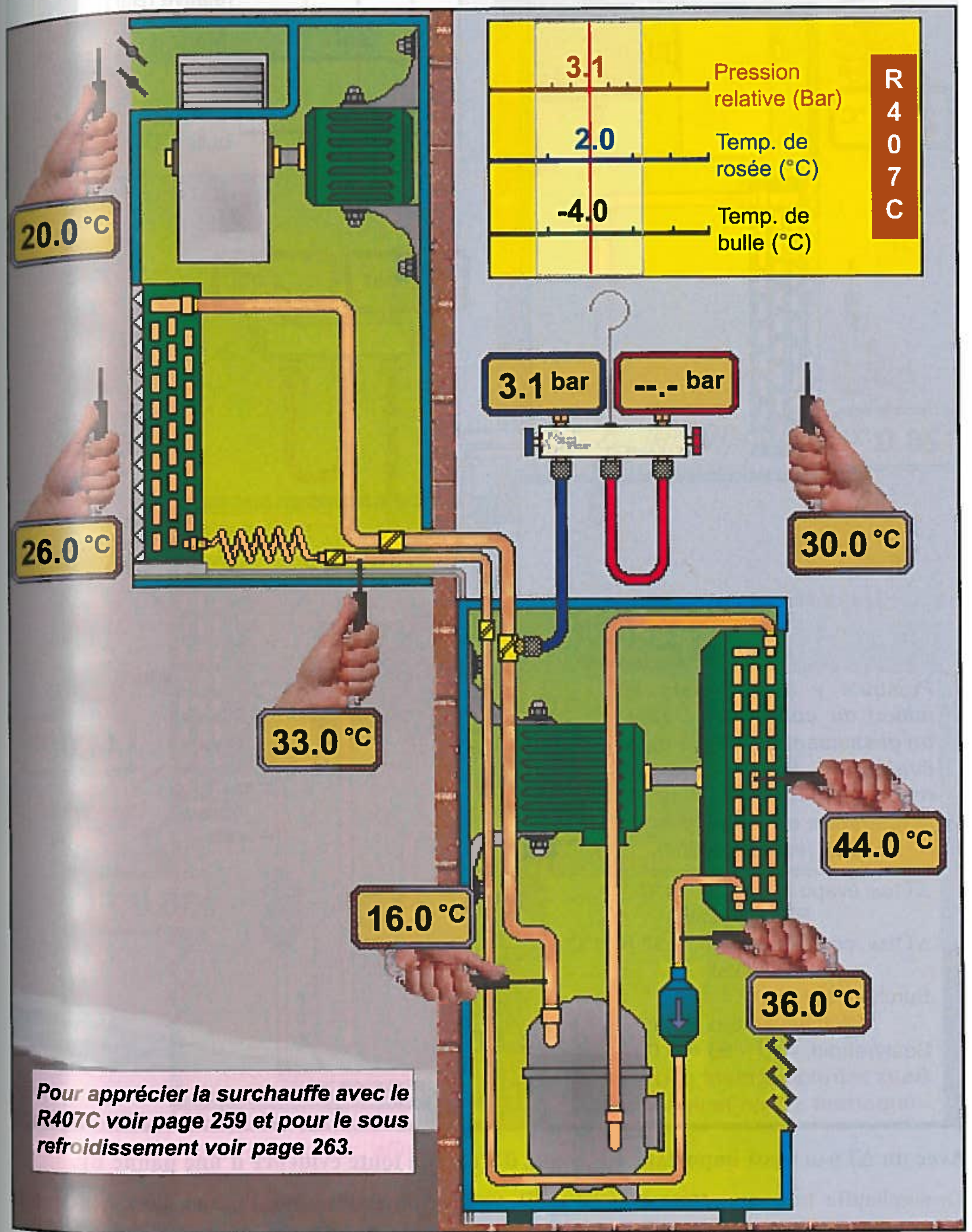
Avec un ΔT_{Total} aussi important au condenseur, il s'agit de toute évidence d'une panne HP.

Le sous refroidissement très faible indique la panne du condenseur trop petit : soit il y a un manque de débit d'air, soit le condenseur est encrassé.

C'est une panne classique et dans la majorité des cas il s'agit d'un condenseur encrassé.

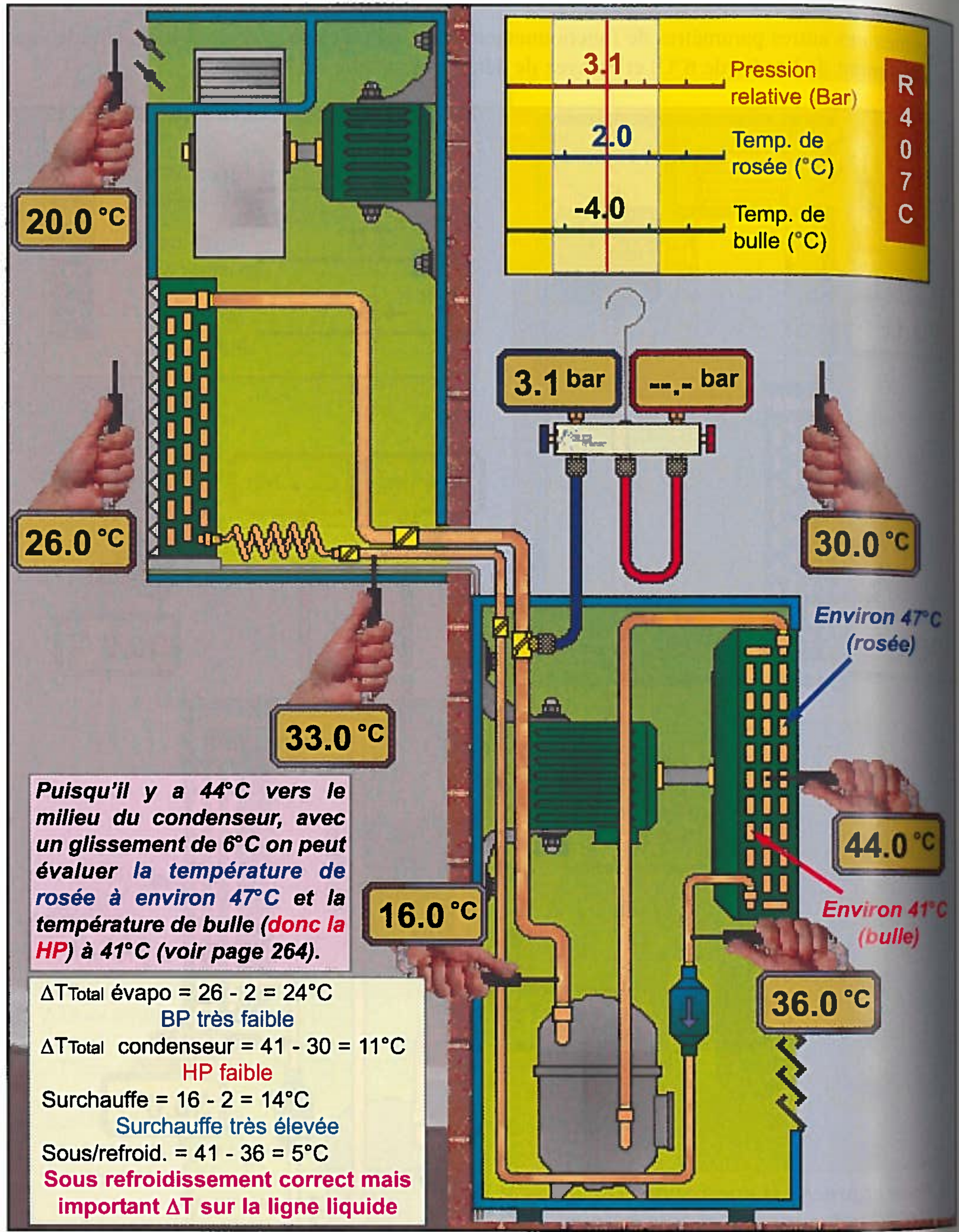
EXERCICE 4

Examinez ces autres paramètres de fonctionnement d'un split chargé avec du R407C (fluide avec un glissement de l'ordre de 6°C) et essayez de déterminer quelle est la panne.



Correction page 338.

CORRECTION DE L'EXERCICE 4



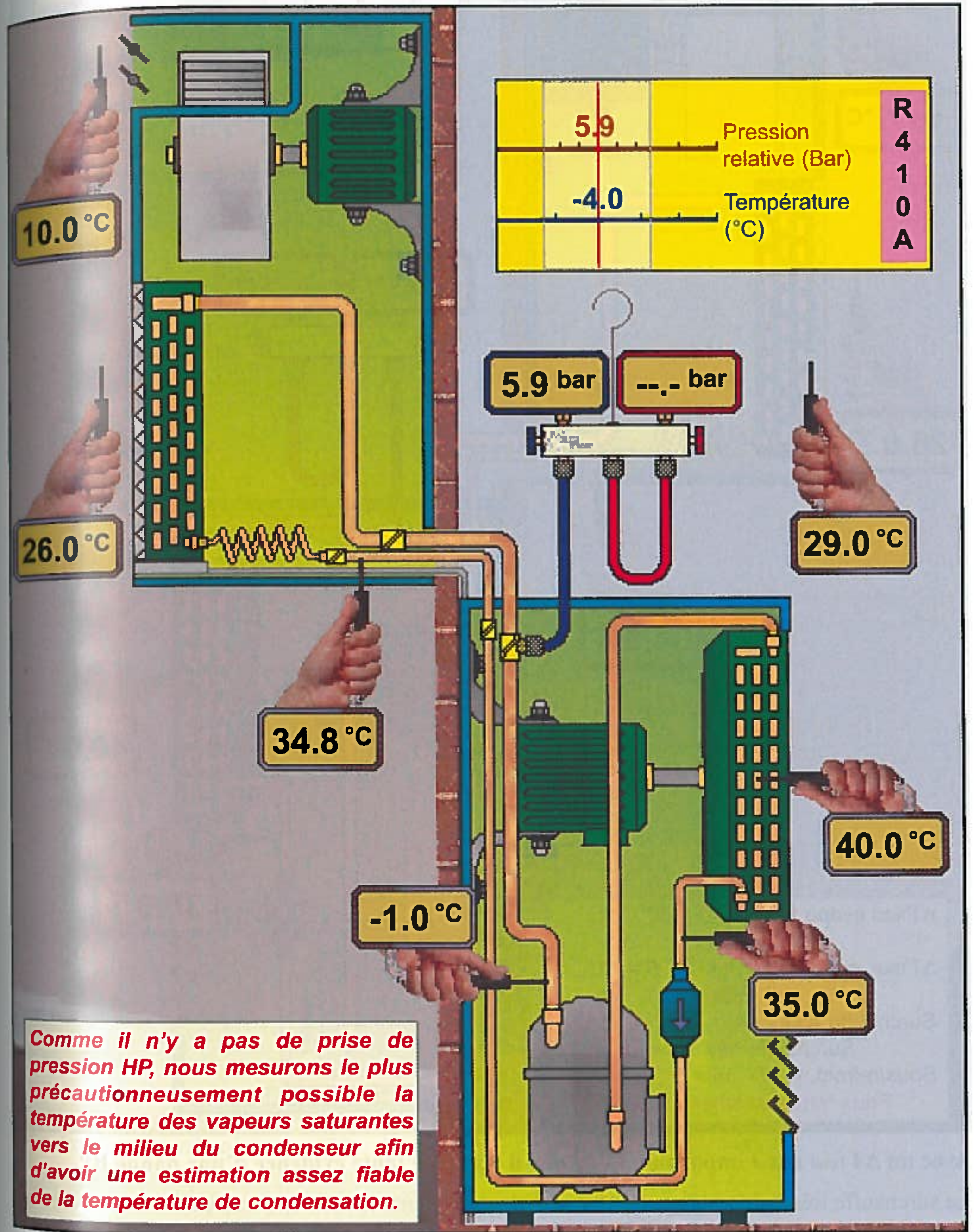
Avec un ΔT_{Total} aussi important à l'évapo, il s'agit de toute évidence d'une panne BP.

La surchauffe très importante indique qu'il manque du fluide dans l'évapo alors que le sous refroidissement très correct indique qu'il y en a dans le condenseur. Alors, pourquoi ce fluide n'arrive-t-il pas dans l'évapo ? Soit le détendeur est trop petit, soit il y a une prédétente.

L'important ΔT de 3°C sur la ligne liquide indique sans aucun doute qu'il s'agit d'une prédétente entre la sortie du condenseur et l'entrée du détendeur.

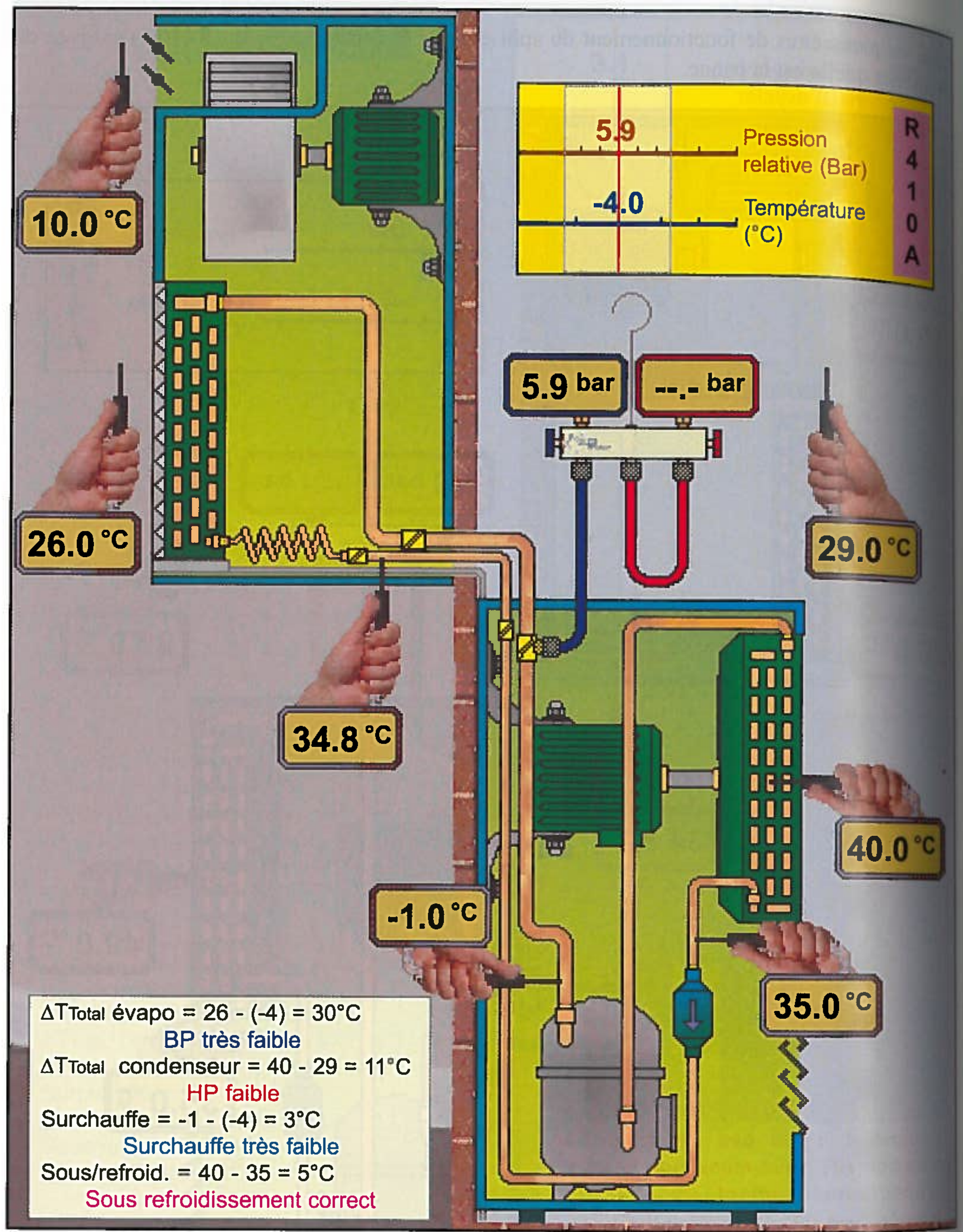
EXERCICE 5

Selon les paramètres de fonctionnement du split ci-dessous (chargé avec du R410A) essayez de déterminer quelle est la panne.



Correction page 340.

CORRECTION DE L'EXERCICE 5



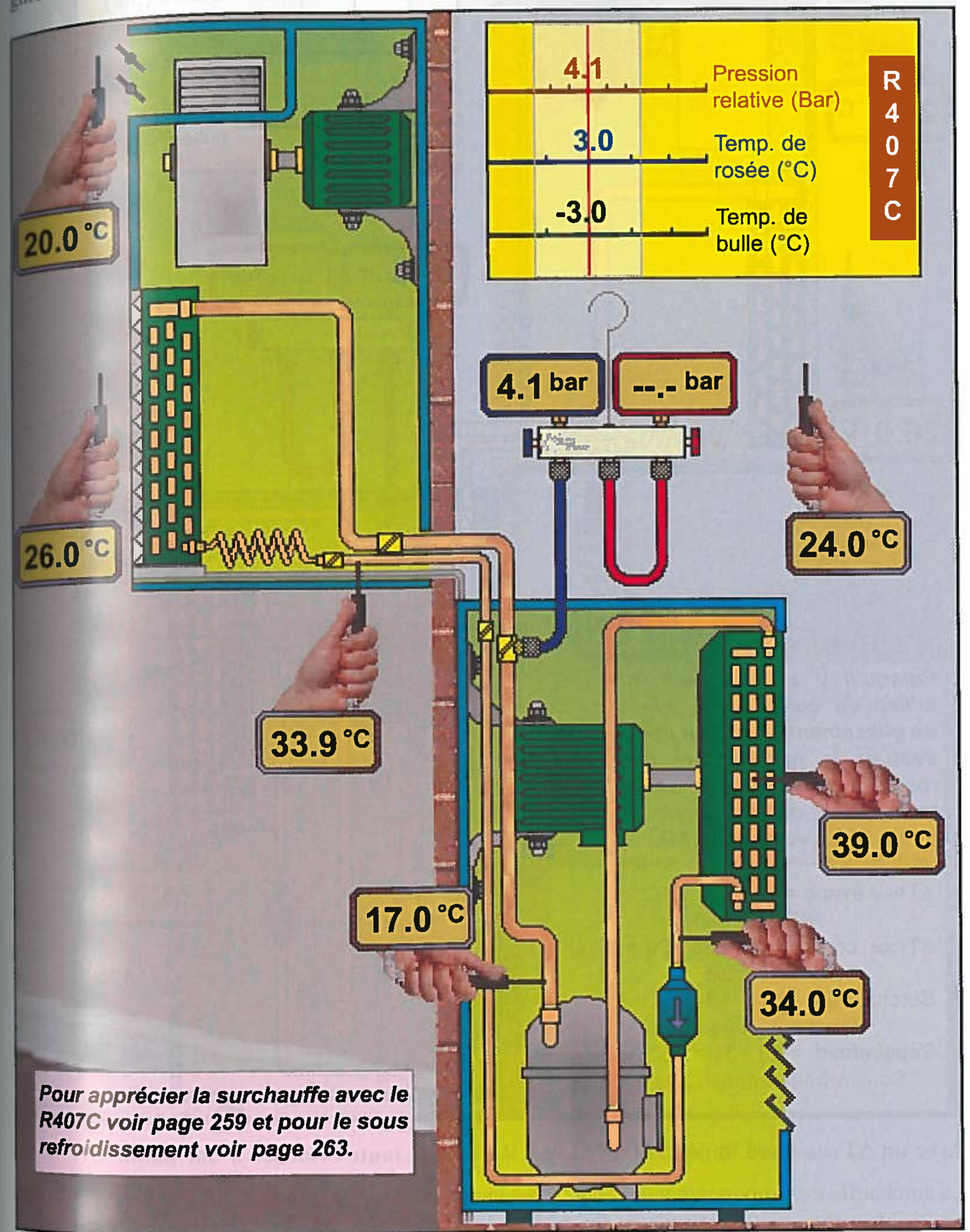
Avec un ΔT_{Total} aussi important à l'évapo, il s'agit de toute évidence d'une panne BP.

La surchauffe très faible indique sans aucun doute la panne de l'évapo trop petit. Soit l'évapo est encrassé, soit il y a un manque de débit d'air.

L'important ΔT de 16°C au soufflage indique sans aucun doute qu'il s'agit d'un manque de débit d'air (la plupart du temps provoqué par des filtres sales).

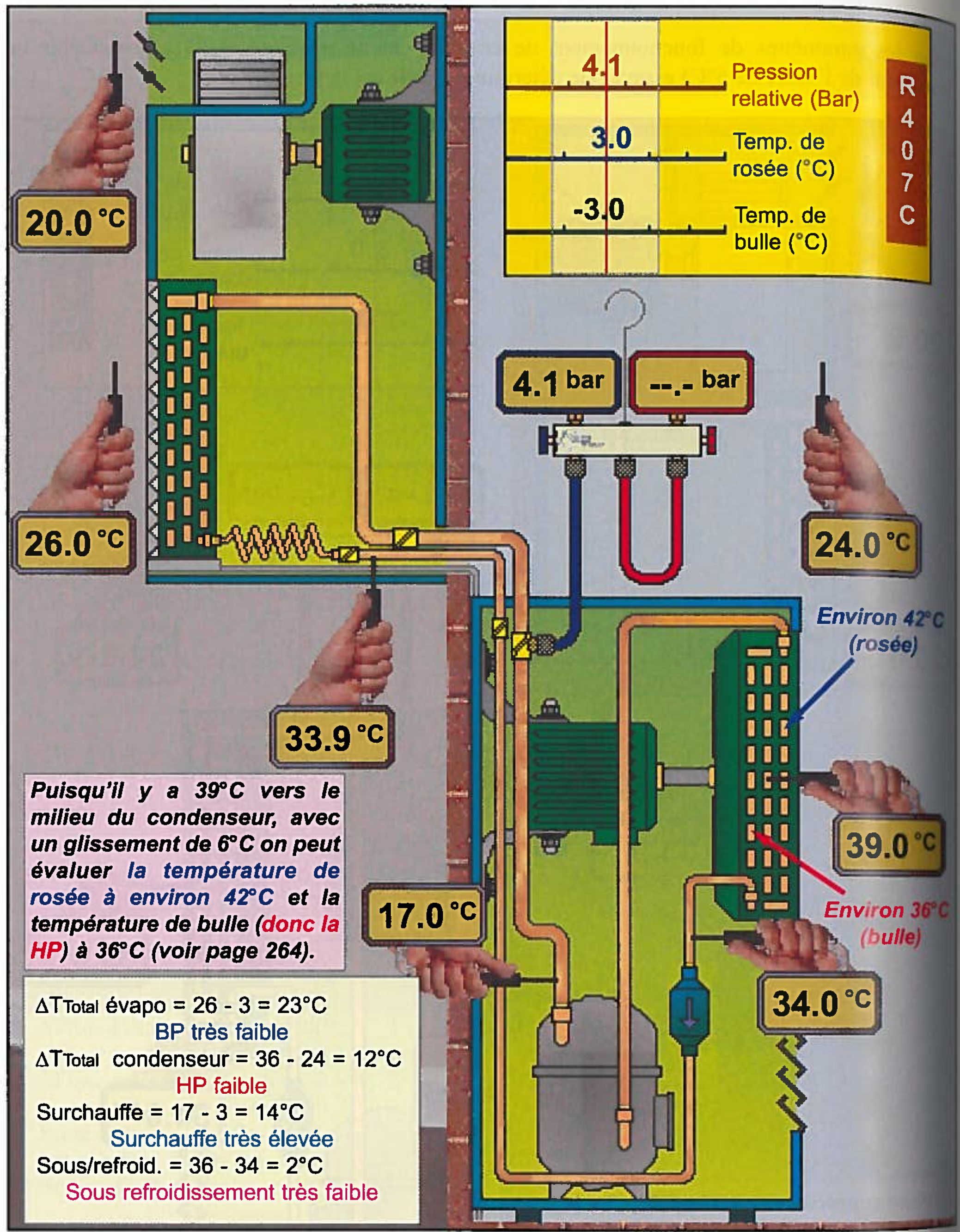
EXERCICE 6

Selon les paramètres de fonctionnement de ce split chargé avec du R407C (considérer un glissement de l'ordre de 6°C) essayez de déterminer quelle est la panne.



Correction page 342.

CORRECTION DE L'EXERCICE 6



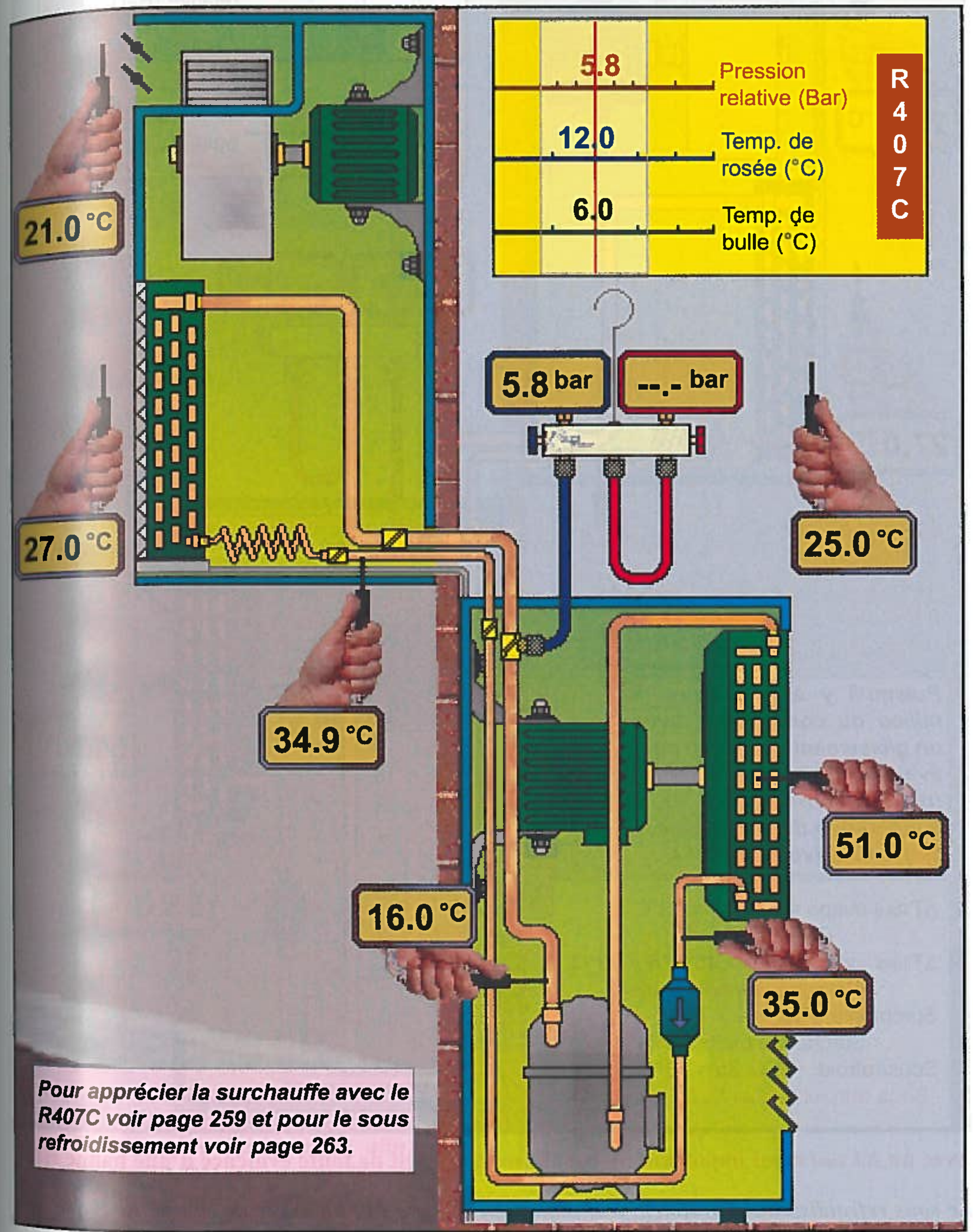
Avec un ΔT_{Total} aussi important à l'évapo, il s'agit de toute évidence d'une panne BP.

La surchauffe très importante indique qu'il manque du fluide dans l'évapo. Le sous refroidissement très faible indique qu'il manque du fluide dans le condenseur.

Puisqu'il manque du fluide à la fois dans l'évapo et dans le condenseur, il s'agit sans aucun doute d'un manque de charge en fluide. ATTENTION : si le dépanneur ne tient pas compte du glissement il pense que le S/R = 39 - 34 = 5°C et il part sur une fausse piste !

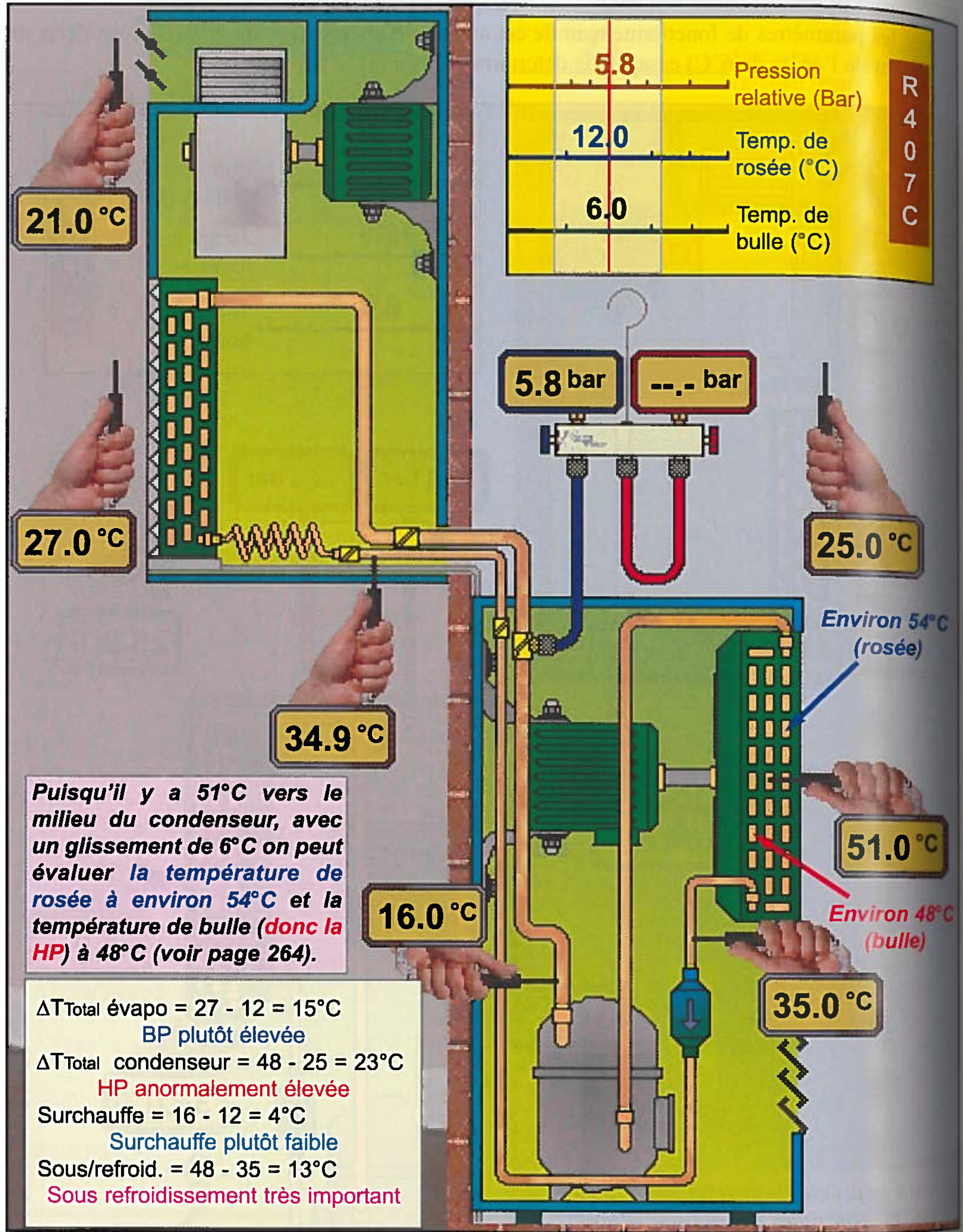
EXERCICE 7

Et avec les paramètres de fonctionnement de cet autre split chargé avec du R407C (considérer un glissement de l'ordre de 6°C) essayez de déterminer quelle est la panne.



Correction page 344.

CORRECTION DE L'EXERCICE 7



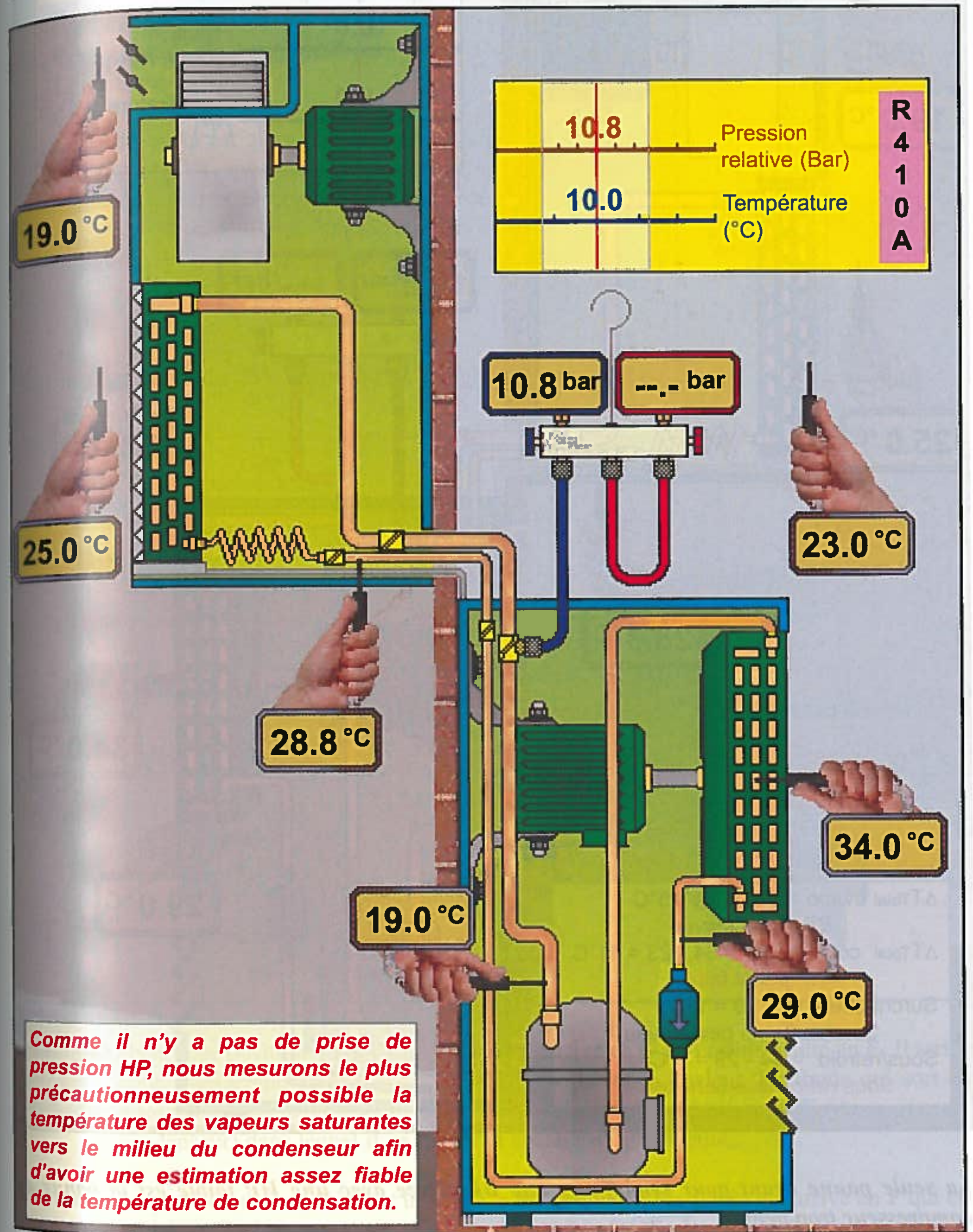
Avec un ΔT_{Total} aussi important au condenseur, il s'agit de toute évidence d'une panne HP.

Le sous refroidissement vraiment très important indique soit un excès de charge en fluide, soit une importante présence d'incondensables.

Notez que même si on ne peut pas monter un mano HP on peut malgré tout se débrouiller pour avoir une assez bonne évaluation de la température de condensation. Il faut toutefois être très prudent et tenir compte du glissement selon le fluide frigorigène utilisé dans l'installation.

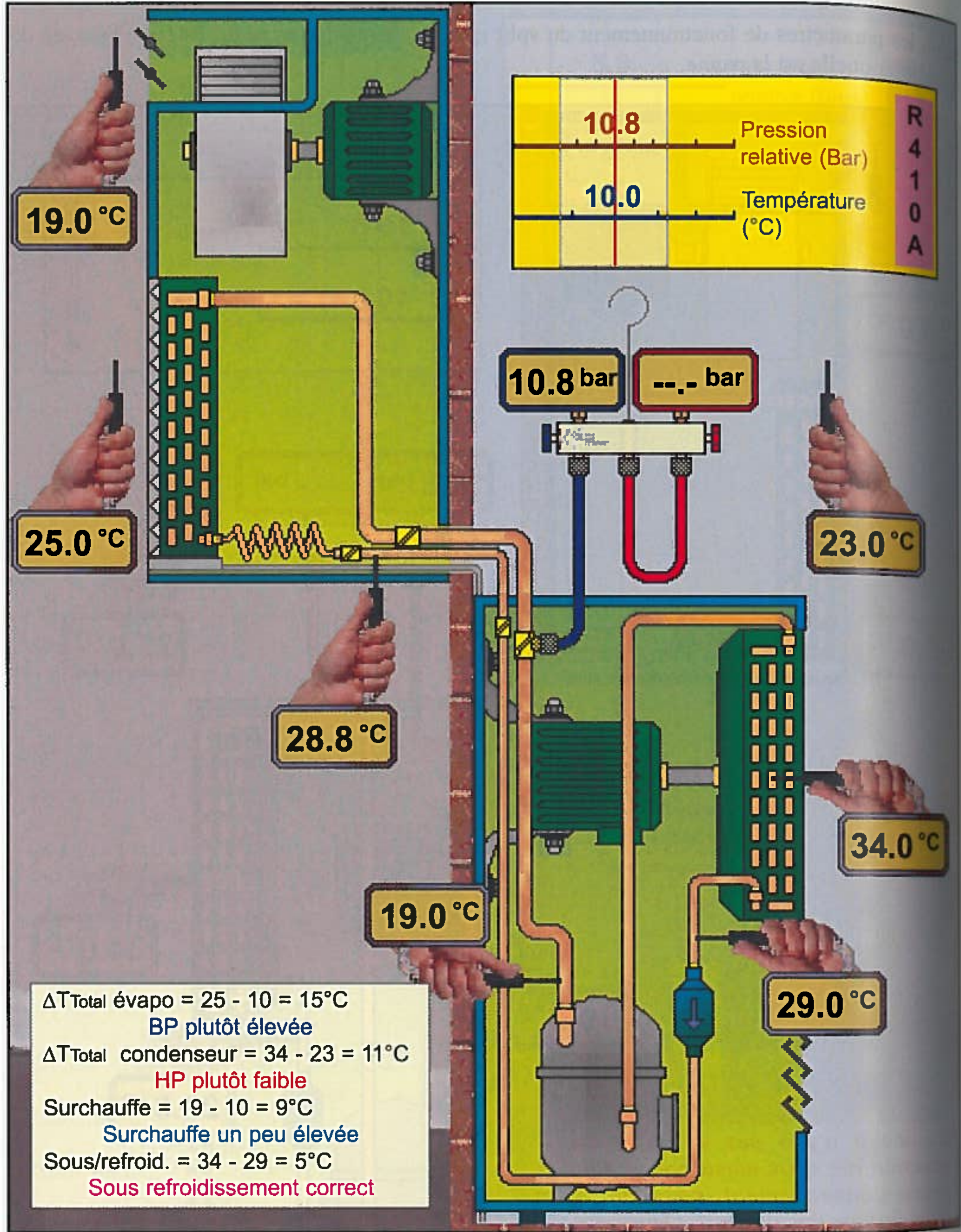
EXERCICE 8

Selon les paramètres de fonctionnement du split ci-dessous (chargé avec du R410A) essayez de déterminer quelle est la panne.



Correction page 347.

CORRECTION DE L'EXERCICE 8

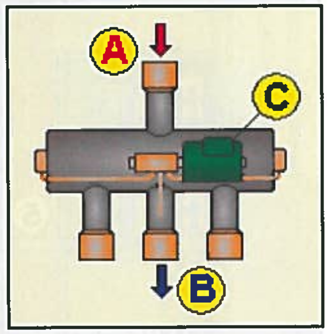


La seule panne ayant pour symptômes une BP élevée avec une HP faible est la panne du compresseur trop petit.

Dans tous les autres cas, si la HP n'est pas régulée (*voir page 280*) lorsque la BP est faible la HP est faible, et si la HP est élevée la BP est élevée.

LE CLIMATISEUR RÉVERSIBLE

Un climatiseur réversible permet de climatiser un local tout à fait normalement en été. Cependant, il est doté *en plus* d'un dispositif permettant d'inverser le cycle frigorifique en hiver afin de chauffer ce même local.



L'inversion du cycle est alors commandée à l'aide d'une vanne à quatre voies **(V4V)** spéciale. Dès à présent, sachez que le refoulement du compresseur est toujours raccordé sur la voie **A** (du côté ou il n'y a qu'un seul piquage) et l'aspiration sur la voie **B** (la voie du milieu, du côté où se trouvent les 3 autres piquages). La position de la V4V est déterminée par une petite électrovanne pilote (repère **C**).

Examinons comment la V4V dirige le fluide frigorigène en fonction de sa position :

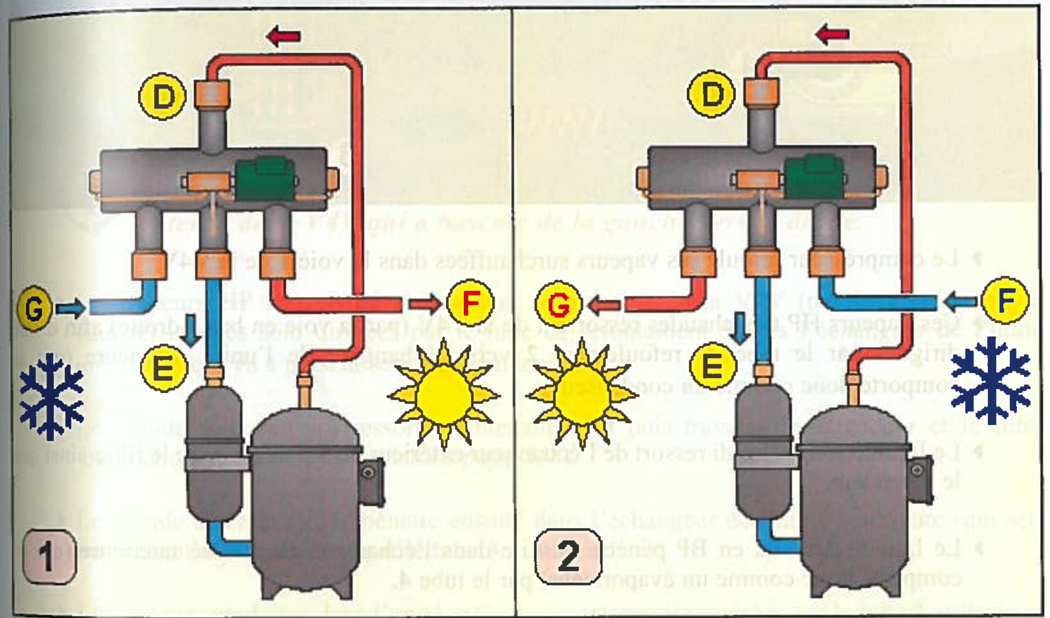
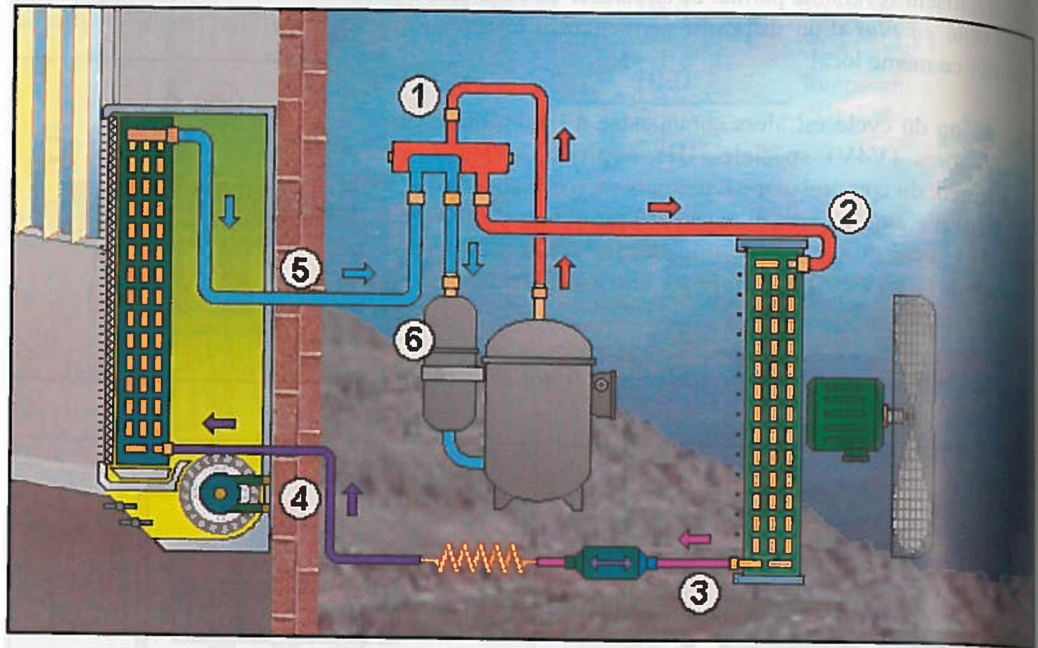


Schéma 1 : Dans cette position de la V4V, le fluide qui arrive en **G** est ensuite aspiré en **E**. Il arrive donc d'un évaporateur dans lequel il a absorbé de la chaleur. Le fluide qui sort du refoulement du compresseur arrive en **D** puis il est dirigé vers **F** (donc vers un condenseur) dans lequel il va rejeter la chaleur qu'il véhicule.

Schéma 2 : La position de la V4V étant inversée, c'est maintenant le fluide qui arrive en **F** qui est aspiré en **E**. L'évaporateur se trouve donc du côté **F** alors qu'il était en **G** dans le schéma n°1. Le refoulement du compresseur qui arrive toujours en **D** est maintenant dirigé vers **G** dans lequel il va rejetter la chaleur qu'il véhicule. Ainsi, **G** et **F** sont tantôt évaporateur, tantôt condenseur, selon la position de la V4V.

Afin de bien comprendre le fonctionnement d'un climatiseur réversible, examinons d'un peu plus près le sens de passage du fluide dans les 2 cas de figure " été " et " hiver ".

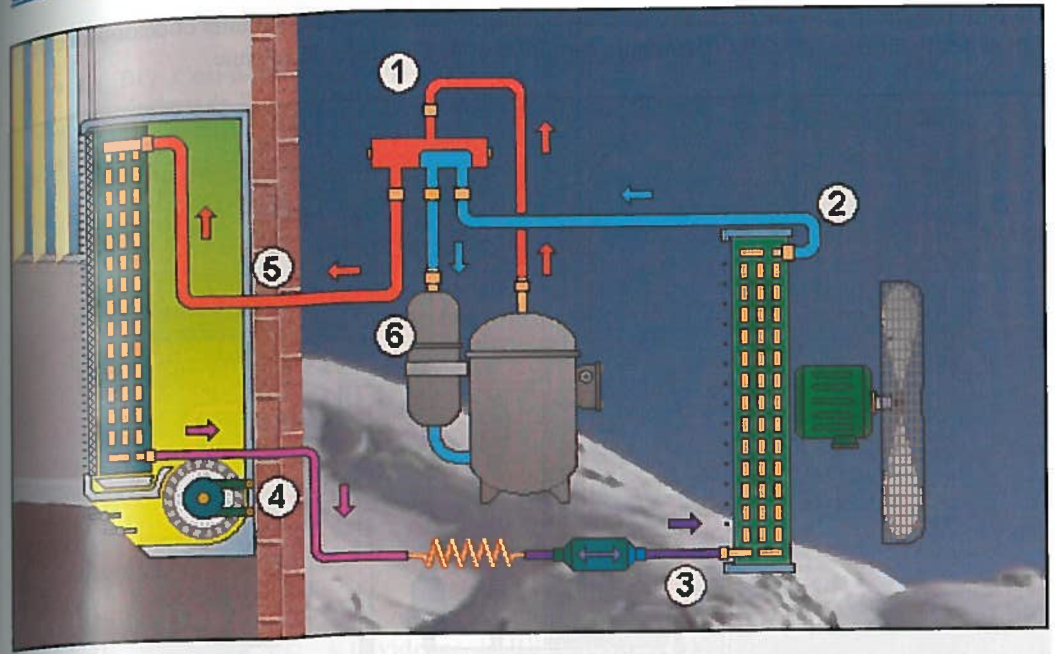
Le fonctionnement " été ".



- Le compresseur refoule ses vapeurs surchauffées dans la voie **1** de la V4V.
- Ces vapeurs HP très chaudes ressortent de la V4V (par la voie en bas à droite) afin d'être dirigées par le tube de refoulement **2** vers l'échangeur de l'unité extérieure (qui se comporte donc comme un condenseur).
- Le liquide sous refroidi ressort de l'échangeur extérieur en **3** puis traverse le filtre ainsi que le détendeur.
- Le liquide détendu en BP pénètre ensuite dans l'échangeur de l'unité intérieure (qui se comporte donc comme un évaporateur) par le tube **4**.
- Les vapeurs produites par la vaporisation du fluide sont ensuite aspirées par le tube **5** et dirigées par le tiroir de la V4V vers la bouteille anti-coups de liquide **6** (que nous détaillerons *page 357*).
- Toute trace éventuelle de liquide étant éliminée, les vapeurs sont alors aspirées par le compresseur.

Dans cette position de la V4V, la chaleur absorbée à l'intérieur du local est rejetée à l'extérieur par le condenseur : c'est le fonctionnement classique de tous les climatiseurs en été.

Le fonctionnement " hiver ".



- Le compresseur refoule toujours ses vapeurs surchauffées dans la voie **1** de la V4V.

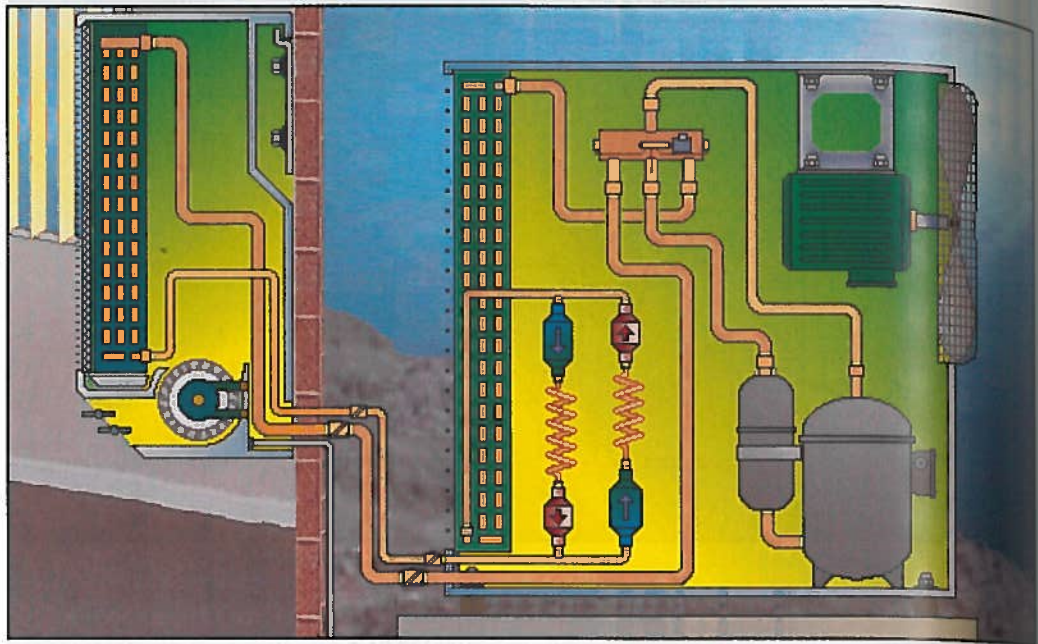
Cependant, l'électrovanne pilote a provoqué le mouvement du tiroir interne de la V4V qui a basculé de la gauche vers la droite.

- Les vapeurs HP très chaudes ressortent maintenant de la V4V (par la voie en bas à gauche) et elles sont dirigées par le tube de refoulement **5** vers l'échangeur de l'unité intérieure (qui va à présent servir de condenseur).
- Le liquide sous refroidi ressort maintenant en **4** puis traverse le détendeur et le filtre bidirectionnel (nous en reparlerons *page 358*).
- Le liquide détendu en BP pénètre ensuite dans l'échangeur de l'unité extérieure (qui sert maintenant d'évaporateur) par le tube **3**.
- Les vapeurs produites dans l'unité extérieure sont ensuite aspirées par le tube **2** et dirigées par le tiroir de la V4V vers la bouteille anti-coups de liquide **6**.
- Toute trace éventuelle de liquide étant éliminée, les vapeurs sont alors aspirées par le compresseur.
- ***Notez bien que le condenseur est devenu évaporateur et réciproquement.***

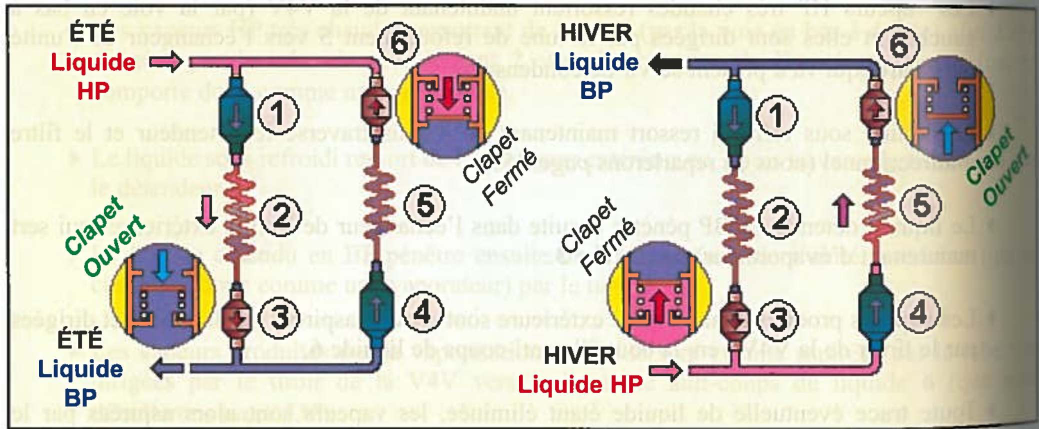
Dans cette position de la V4V, de la chaleur est absorbée à l'extérieur et rejetée à l'intérieur du local, ce qui permet de le chauffer. C'est un fonctionnement en cycle frigorifique inversé connu sous le nom de pompe à chaleur.

Exercice 1 :

On peut rencontrer des climatiseurs réversibles équipés, comme sur le schéma ci-dessous, de deux filtres déshydrateurs, de deux détendeurs capillaire et de 2 clapets de retenue.



Afin de vous aider à comprendre le fonctionnement selon la saison, nous avons schématisé ci-dessous le montage un peu particulier des 2 capillaires :



1) Sur le marché ultra concurrentiel des climatiseurs, la plupart des fabricants " tirent les prix " au maximum. Alors, pourquoi choisir ce montage beaucoup plus onéreux en matériel et en temps de fabrication ?

2) En analysant les schémas ci-dessus, essayez de suivre le cycle frigorifique en fonctionnement été puis en fonctionnement hiver.

Correction de l'exercice 1 :

Rappelons-nous de quoi dépendent les conditions de fonctionnement d'un climatiseur :

- **La BP,** c'est-à-dire la température du palier de vaporisation " été ", dépend de la température de l'air à l'entrée de l'évaporateur.
- **La HP,** c'est-à-dire la température du palier de condensation " été ", dépend de la température de l'air à l'entrée du condenseur.

Or, un climatiseur réversible est non seulement prévu pour fonctionner en été, mais également en hiver. Cela signifie :

- **En fonctionnement été,** la température de l'air à l'entrée de la batterie extérieure (qui sert de condenseur) peut, selon les régions, être comprise entre 30 et 35°C, voire davantage : **la HP est alors plutôt élevée.**

  La température de l'air à l'entrée de la batterie intérieure (qui sert alors d'évaporateur) peut être évaluée aux environs de 22 à 28°C : **la BP est alors également élevée.**

- **En fonctionnement hiver,** admettons que la température de l'air à l'entrée de la batterie intérieure (qui sert alors de condenseur) soit comprise entre 18 et 22°C : **la HP est alors plus faible qu'en été.**

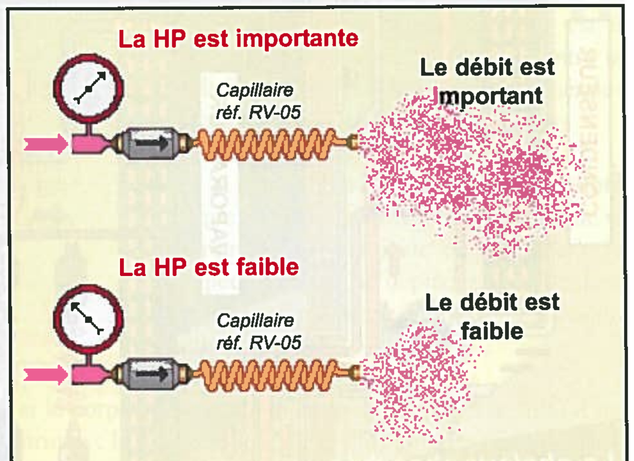
  La température de l'air à l'entrée de la batterie extérieure (qui sert alors d'évaporateur) peut être inférieure à 0°C : **à l'évidence, la BP obtenue sera plus faible qu'en été, et risque même parfois d'être négative.** Ce fonctionnement avec une BP négative entraînera la formation de givre sur l'unité extérieure, ce qui imposera des dégivrages périodiques.

Les fabricants tiennent compte de ces importantes variations entre l'été et l'hiver pour sélectionner les différents composants du circuit (compresseur, batterie intérieure, batterie extérieure, détendeur, etc.) et déterminer les automatismes de commande (régulation de la vitesse des ventilateurs, cycles de dégivrage, etc.). Mais laissons les fabricants sélectionner les composants de leurs climatiseurs et revenons à notre exercice.

Si on utilisait le même capillaire en été et en hiver, le débit de liquide risquerait d'être très insuffisant en hiver (voir figure ci-contre).

En effet, rappelez-vous que la capacité (c'est-à-dire la puissance) d'un détendeur capillaire dépend de ses dimensions (longueur et diamètre intérieur), mais aussi des pressions HP et BP de fonctionnement.

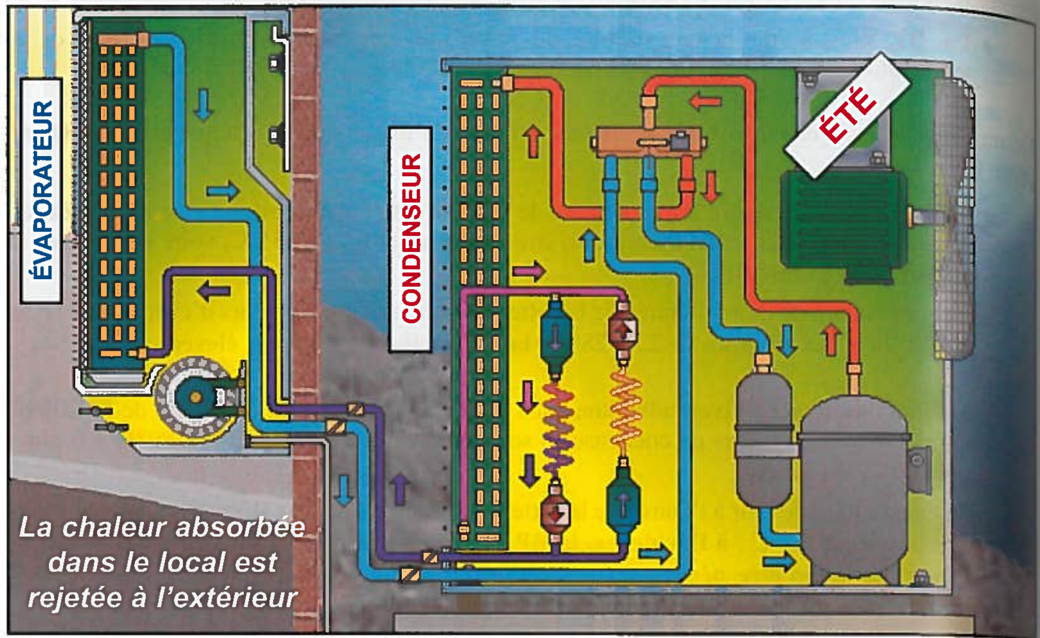
C'est pourquoi notre climatiseur réversible est équipé de 2 détendeurs capillaires, l'un sélectionné pour l'été et l'autre sélectionné pour l'hiver.



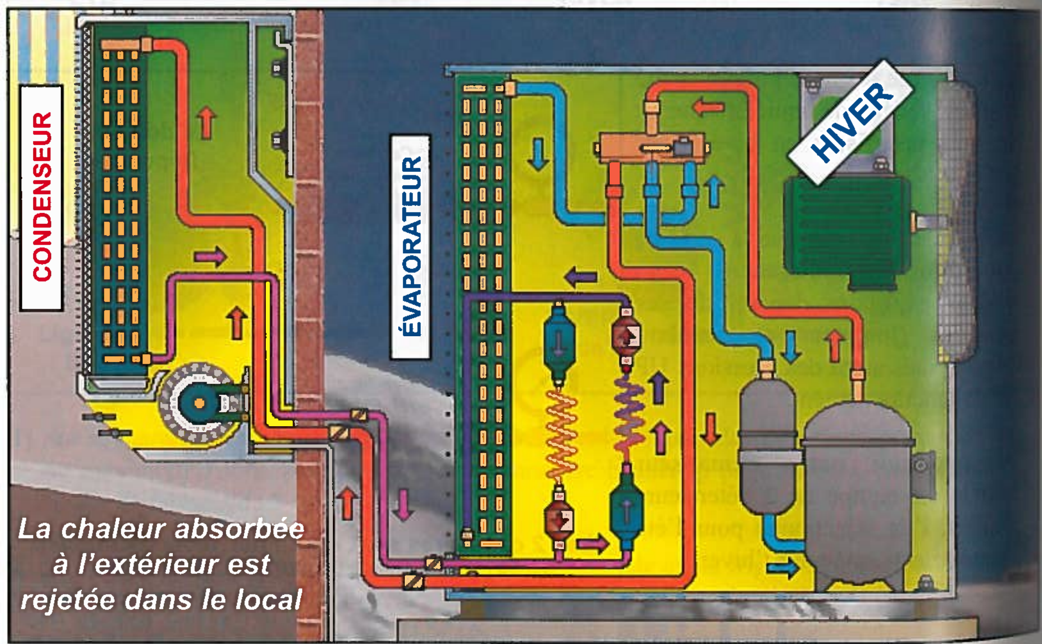
Les 2 capillaires sont rigoureusement identiques

En résumé, examinons le cycle frigorifique selon la saison.

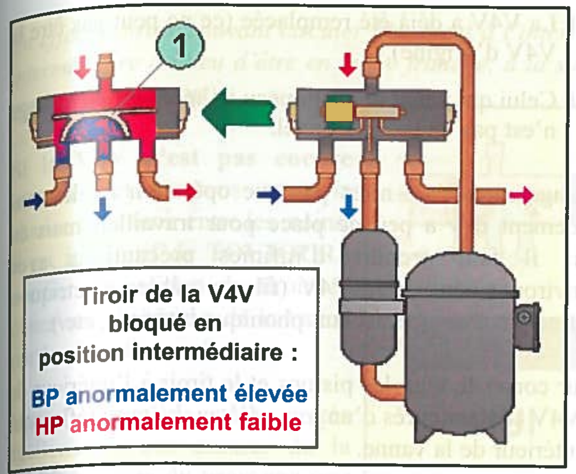
Cycle frigorifique " été " : le climatiseur fonctionne à l'identique d'un climatiseur " froid seul ". La chaleur absorbée par la batterie intérieure (l'évaporateur) est rejetée par la batterie extérieure (le condenseur).



Cycle frigorifique " hiver " : A présent, la chaleur absorbée par la batterie extérieure (l'évaporateur se trouve maintenant dehors) est rejetée par la batterie intérieure (le condenseur se trouve maintenant à l'intérieur du local climatisé). *C'est le fonctionnement en pompe à chaleur.*



Quelques risques de pannes des vannes à 4 voies :



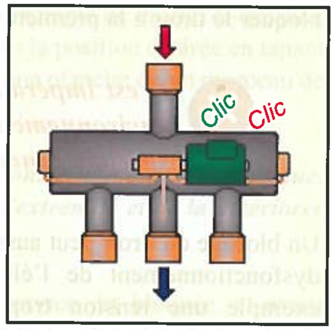
La panne la plus délicate pouvant arriver à une vanne quatre voies est vraisemblablement le blocage du tiroir en position intermédiaire (repère **1**).

A ce moment, les 4 voies sont en communication ce qui provoque un court-circuit *plus ou moins franc* entre la HP et la BP, selon la position du tiroir au moment du blocage.

Cela produit alors tous les symptômes de la panne du compresseur trop petit : puissance frigorifique réduite, HP trop faible et BP trop élevée (voir : panne du compresseur trop petit, *page 326*).

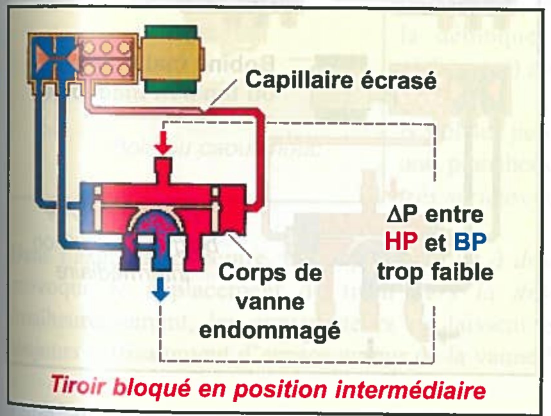
De nombreuses causes peuvent être à l'origine d'un blocage du tiroir.

Sachez auparavant que si la vanne quatre voies n'est pas soumise aux pressions HP et BP, et qu'on alimente la petite électrovanne pilote, on l'entend distinctement " cliquer ".



Cependant, le tiroir mobile placé à l'intérieur de la vanne principale ne bouge absolument pas.

C'est en effet la différence de pression entre la HP et la BP qui permet de manœuvrer ce tiroir.



Tiroir bloqué en position intermédiaire

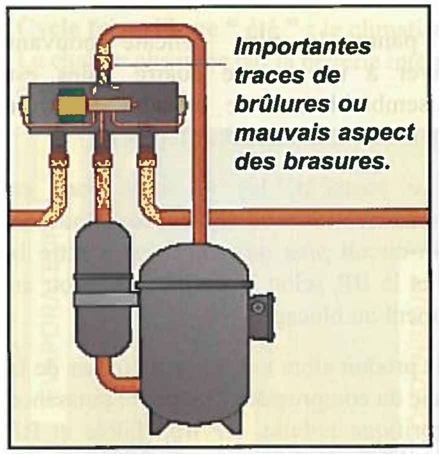
Il est donc inutile d'essayer de basculer le tiroir de la vanne si le compresseur est à l'arrêt ou si la différence de pression entre la HP et la BP est trop faible (on estime généralement ce ΔP minimum à environ 1 bar).

Ainsi, si on manœuvre l'électrovanne pilote alors que le ΔP est insuffisant (par exemple si le compresseur vient juste de démarrer), le tiroir peut ne pas se déplacer franchement et il risque alors de se bloquer en position intermédiaire.

On risque également le blocage du tiroir si le corps de la vanne a été endommagé à la suite d'un choc et qu'il n'est plus parfaitement cylindrique : le tiroir ne peut alors plus circuler librement.

Sachez également que la petite électrovanne pilote le tiroir par l'intermédiaire des 3 capillaires. Si l'un d'entre eux est écrasé ou déformé, les variations de pressions internes nécessaires au mouvement du tiroir ne se font pas correctement et il risque alors de se bloquer.

Des traces de brûlures excessives sur le corps de la vanne et un mauvais aspect des brasures donnent au moins 2 indices :



- La V4V a déjà été remplacée (ce ne peut pas être la V4V d'origine).
- Celui qui tenait le chalumeau au moment du brasage n'est pas un professionnel.

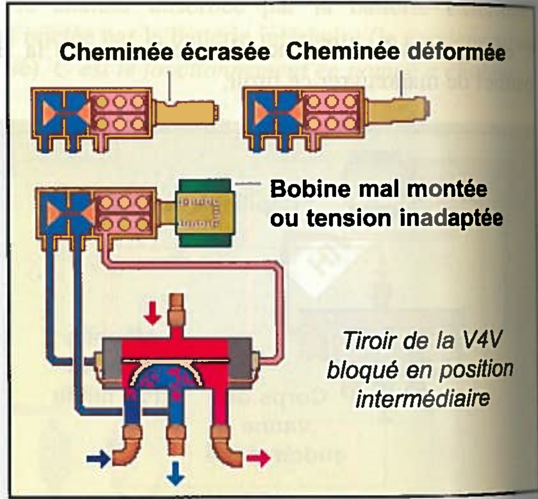
Changer une V4V n'est pas une opération facile. Non seulement il y a peu de place pour travailler, mais en plus il faut prendre d'infinies précautions avec l'environnement de la V4V (fils ou câbles électriques, platine électronique, isolant phonique intérieur, etc.).

Pour corser le tout, les pistons et le tiroir à l'intérieur de la V4V sont entourés d'un *joint d'étanchéité* en téflon qui favorise le coulissement de l'ensemble à l'intérieur de la vanne.

Au moment du brasage, si la température du téflon dépasse une centaine de degrés, il perd ses caractéristiques et le joint est irrémédiablement endommagé. A ce moment, les probabilités de bloquer le tiroir à la première tentative d'inversion de cycle sont très importantes.

Il est impératif de sérieusement protéger le corps de vanne et son environnement avec des chiffons mouillés ou une toile ignifugée spéciale pendant le brasage.

Un blocage du tiroir peut aussi provenir d'un dysfonctionnement de l'électrovanne, par exemple une tension trop faible ou un montage mécanique incorrect de la bobine.



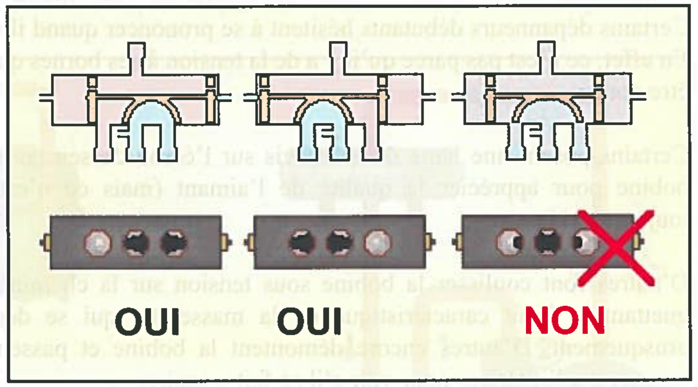
Notez qu'une cheminée écrasée (à la suite d'un choc) ou déformée (lors d'un démontage ou d'une chute) ne permet plus à la masselotte de l'électrovanne de coulisser normalement, ce qui peut également entraîner un blocage de la vanne.

Il n'est pas inutile de rappeler une nouvelle fois qu'un circuit frigorifique doit être absolument impeccable.

En effet, si les copeaux de cuivre, les particules de brasure ou de décapant ne sont pas les bienvenus dans un circuit frigorifique classique, ils risquent en plus de coincer le tiroir ou d'obstruer un orifice ou un capillaire sur la vanne quatre voies. Pensez-y et prenez un maximum de précautions lorsque vous serez amené à intervenir sur un tel circuit.

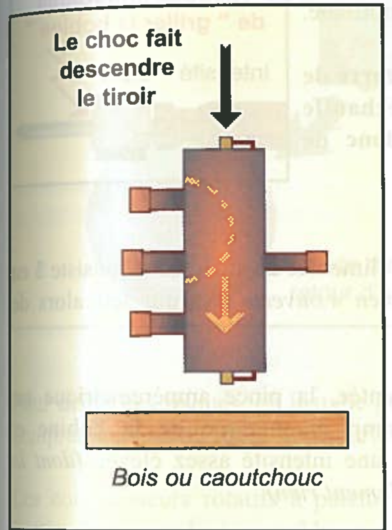
Le blocage du tiroir peut également être provoqué accidentellement à cause même de la conception de la vanne.

En effet, le tiroir pouvant circuler librement à l'intérieur, il peut bouger et se trouver en position intermédiaire au lieu d'être en butée franche, à la suite de chocs ou de vibrations (par exemple pendant le transport).



Si la V4V n'est pas encore installée et si vous avez la chance de la tenir entre les mains, il est impératif de **TOUJOURS** vérifier la position du tiroir en observant l'intérieur de la vanne par les 3 orifices inférieurs.

Vous pourrez ainsi très facilement vous assurer de la position exacte du tiroir **car *une fois la vanne brasée, il sera trop tard pour regarder à l'intérieur !***



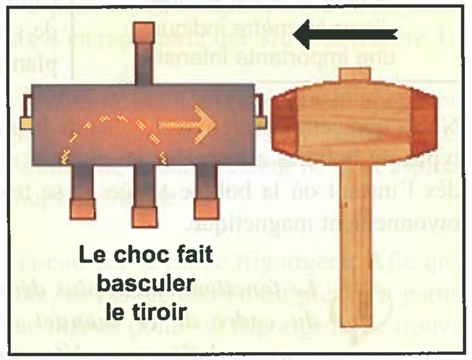
Si le tiroir est mal positionné (exemple de droite, ci-dessus), il sera possible de l'amener dans la position désirée en tapant l'extrémité de la vanne contre une planche ou un morceau de caoutchouc.

Ne frappez jamais la vanne contre une masse métallique, vous risqueriez d'en écraser l'extrémité et de la détériorer très sérieusement.

Si la V4V d'un appareil en service est bloquée, et avant d'envisager son remplacement, on peut toujours essayer de la débloquer sur place en frappant (légèrement mais sèchement) *du côté désiré* à l'aide d'un maillet.

N'utilisez jamais un marteau ou une massette sans intercaler une planchette en bois, *sinon vous risquez d'endommager très sérieusement la vanne.*

Dans l'exemple ci-contre, le coup de maillet *à droite* provoque le déplacement du tiroir *vers la droite* (malheureusement, les constructeurs ne laissent pas toujours suffisamment d'espace autour de la vanne !).



Enfin, signalons qu'il est fortement recommandé de monter la vanne quatre voies *horizontalement* afin d'éviter que le tiroir ne redescende, même légèrement, sous l'action de son propre poids.

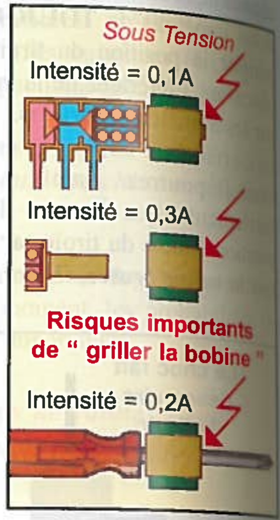
Dans tous les cas, avant d'impliquer le fonctionnement de la V4V, *le dépanneur devra d'abord s'assurer qu'il ne s'agit pas d'un problème frigorifique...*

Par exemple, un important manque de charge en fluide frigorigène, en provoquant une diminution sévère de la HP et de la BP (voir panne du manque de fluide, *page 284*), peut rendre le AP insuffisant pour permettre le déplacement franc et complet du tiroir.

A présent, parlons de la bobine de l'électrovanne.

Certains dépanneurs débutants hésitent à se prononcer quand il s'agit de savoir si elle fonctionne. En effet, ce n'est pas parce qu'il y a de la tension à ses bornes que la bobine est excitée : le fil peut être coupé.

Certains posent une lame de tournevis sur l'écrou de serrage de la bobine pour apprécier la qualité de l'aimant (mais ce n'est pas toujours évident).

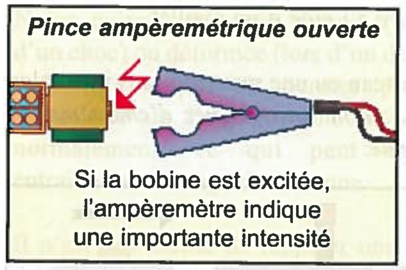


D'autres font coulisser la bobine sous tension sur la cheminée en guettant le bruit caractéristique de la masselotte qui se déplace brusquement. D'autres encore démontent la bobine et passent un tournevis à l'intérieur pour voir s'il se fait « aspirer ».

Sachez que lorsque vous retirez une bobine qui est sous tension de sa cheminée, elle absorbe environ 3 fois plus d'intensité.que la normale.

Or, l'échauffement d'un récepteur électrique dépend du carré de l'intensité. Dans le cas de la bobine, cela signifie qu'elle s'échauffe alors 9 fois plus que la normale et qu'elle risque donc de " griller " très rapidement !

Sans démonter la bobine, un bon moyen de savoir si elle est alimentée normalement consiste à en approcher une pince ampèremétrique *que l'on maintient bien « ouverte »* et qui sert alors de détecteur de champ magnétique.



Si la bobine est alimentée, la pince ampèremétrique est influencée par le champ magnétique de la bobine et l'ampèremètre indique une intensité assez élevée *(dont la valeur ne signifie absolument rien).*

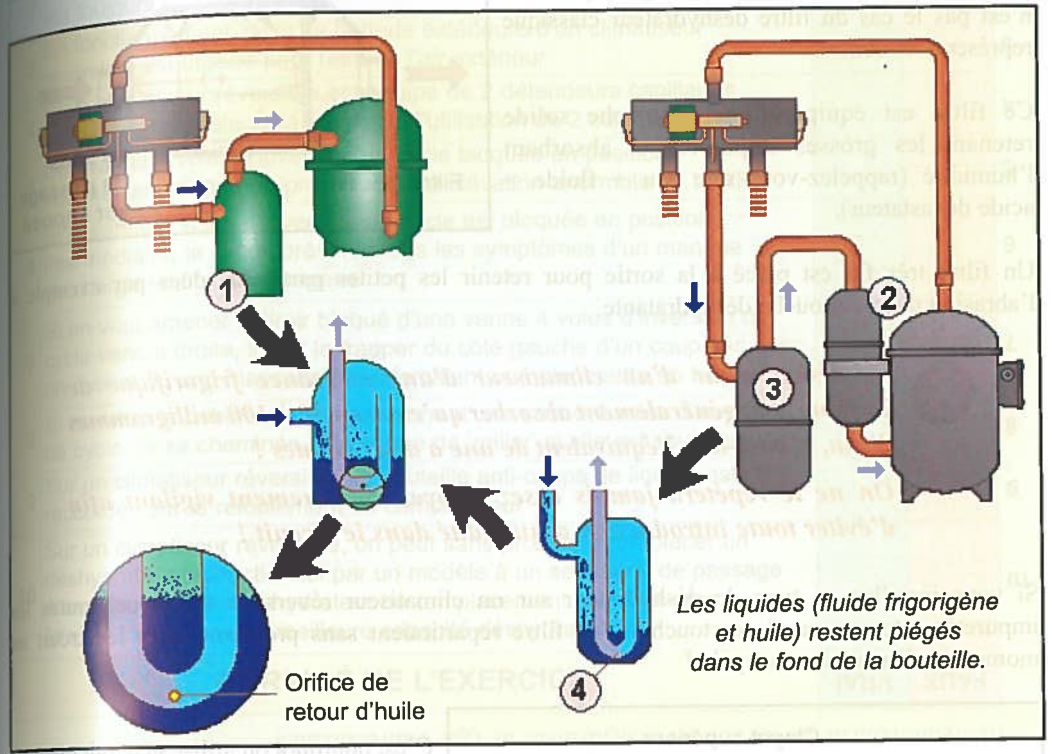
Cette petite manœuvre permet très rapidement et à coup sûr de savoir si l'électro-aimant fonctionne correctement sur le plan électrique.

Notez que cette dernière technique de la pince ampèremétrique « ouverte » est valable sur tous les types de bobines alimentées en courant alternatif (électrovannes, transformateurs, moteurs, etc.) dès l'instant où la bobine testée ne se trouve pas à proximité immédiate d'une autre source de rayonnement magnétique.

Le fonctionnement plus détaillé et l'étude des multiples pannes de la V4V sortent du cadre de ce manuel d'initiation. Nous ne pouvons que les effleurer. Si vous souhaitez compléter vos informations sur les V4V, vous pourrez utilement consulter le manuel du dépanneur (1387 pages en couleurs, du même auteur).

La bouteille anti-coups de liquide :

En fonctionnement " en cycle froid " le condenseur est rempli de liquide. Or, au moment de l'inversion de cycle, nous avons vu que le condenseur se transforme brutalement en évaporateur. C'est dire qu'une importante quantité de liquide est alors aspirée par le compresseur. Quelle que soit la technologie de celui-ci (pistons, rotatif, etc.), les risques de " casse " sont alors très importants.



Pour éviter ces risques, on installe généralement à l'aspiration des compresseurs à pistons ou des compresseurs scroll (dont nous parlerons *page 391*) une bouteille anti-coups de liquide (repère 1).

Les compresseurs rotatifs à palette (étudiés *page 204*) sont déjà équipés d'une telle bouteille (repère 2). Cependant, quand la puissance frigorifique augmente, la quantité de liquide susceptible de revenir au compresseur après une inversion de cycle peut devenir supérieure à la capacité standard de la bouteille déjà installée. Il n'est alors pas rare d'en rencontrer une seconde (repère 3).

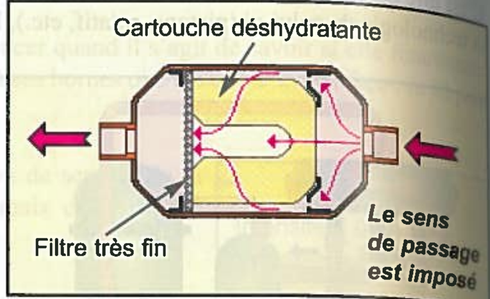
Afin qu'un éventuel afflux de liquide ne puisse atteindre le compresseur, principalement après une inversion de cycle, les bouteilles sont conçues pour piéger le liquide dans leur partie basse. L'aspiration du compresseur se faisant par le haut de la bouteille, le compresseur ne peut aspirer que du gaz, ce qui élimine radicalement tout risque de coups de liquide.

Nous avons vu que de l'huile est entraînée dans tout le circuit par le fluide frigorigène. Afin que cette huile ne reste pas piégée dans le fond de la bouteille, un orifice calibré est prévu en partie basse de la canne d'aspiration (repère 4). Ainsi, lorsque du liquide (huile ou frigorigène) se trouve dans le fond de la bouteille, il est aspiré *progressivement* par l'orifice calibré et peut donc retourner au compresseur sans aucun risque coups de liquide.

Le filtre déshydrateur bidirectionnel :

Suivant le mode de fonctionnement (été ou hiver) le fluide peut circuler dans la ligne liquide dans les 2 sens (voir schémas *pages 348 et 349*).

Le capillaire étant un simple tube de cuivre calibré, il n'y a pas de sens de passage imposé. Ce n'est pas le cas du filtre déshydrateur classique représenté ci-contre.



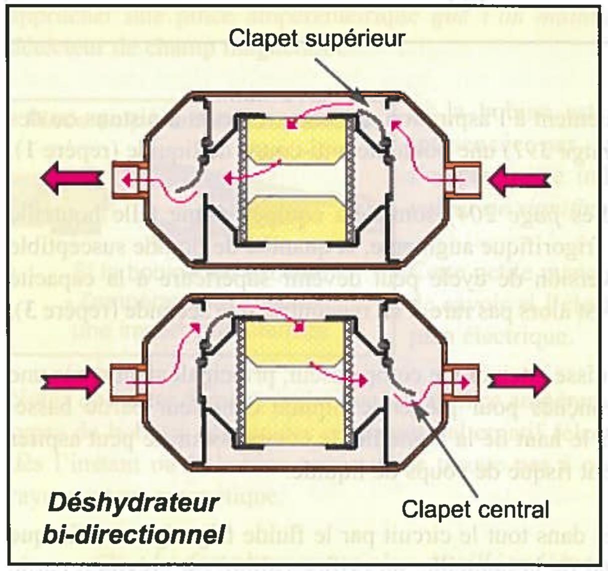
Ce filtre est équipé d'une cartouche solide retenant les grosses impuretés et absorbant l'humidité (rappelez-vous que eau + fluide = acide dévastateur).

Un filtre très fin est placé à la sortie pour retenir les petites particules dues par exemple à l'abrasion de la cartouche déshydratante.

Le déshydrateur d'un climatiseur d'une puissance frigorifique de 2 kW ne peut généralement absorber qu'environ 50 à 100 milligrammes d'eau, c'est-à-dire l'équivalent de une à deux gouttes !

On ne le répétera jamais assez : soyez extrêmement vigilant afin d'éviter toute introduction d'humidité dans le circuit !

Si vous installez ce type de déshydrateur sur un climatiseur réversible classique, toutes les impuretés retenues par la cartouche et le filtre repartiraient sans problème dans le circuit au moment de l'inversion de cycle !



C'est pourquoi on utilise généralement un filtre déshydrateur bidirectionnel, qui est équipé de 2 filtres et de 2 clapets tel que représenté ci-contre..

Quel que soit son sens de passage, le fluide pénètre toujours dans la cartouche en passant par le clapet supérieur.

Ensuite, il traverse le filtre fin avant de ressortir par le clapet central.

De cette façon, les impuretés restent obligatoirement piégées entre les clapets supérieurs et les filtres, quel que soit le sens de passage.

Alors ne remplacez jamais un filtre déshydrateur bidirectionnel par un modèle à un seul sens de passage !

	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°24 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX
1	Sur une vanne 4 voies d'inversion de cycle, la voie située du côté où il n'y a qu'un seul piquage doit toujours être raccordée sur l'aspiration du compresseur		
2	En fonctionnement 'été' la batterie extérieure d'un climatiseur réversible est toujours un condenseur		
3	En fonctionnement 'hiver' la batterie extérieure d'un climatiseur réversible est utilisée pour refroidir l'air extérieur		
4	Si un climatiseur réversible est équipé de 2 détendeurs capillaires montés en parallèle, cela nécessite l'utilisation de 2 clapets de retenue		
5	Une vanne 4 voies d'inversion de cycle bloquée en position intermédiaire risque de provoquer une élévation anormale de la HP		
6	Si la vanne 4 voies d'inversion de cycle est bloquée en position intermédiaire, le circuit présente tous les symptômes d'un manque de charge en fluide frigorigène		
7	Si on veut amener le tiroir bloqué d'une vanne 4 voies d'inversion de cycle vers la droite, il faut la frapper du côté gauche d'un coup sec avec un maillet ou une massette (en intercalant une planchette en bois)		
8	Si on retire la bobine de l'électrovanne d'une vanne 4 voies d'inversion de cycle de sa cheminée, elle risque de 'griller' si elle est sous tension		
9	Sur un climatiseur réversible, la bouteille anti-coups de liquide est raccordée sur le refoulement du compresseur		
10	Sur un climatiseur réversible, on peut sans problème remplacer un déshydrateur bidirectionnel par un modèle à un seul sens de passage à condition que le déshydrateur de remplacement soit plus gros (c'est-à-dire avec une meilleure capacité déshydratante).		

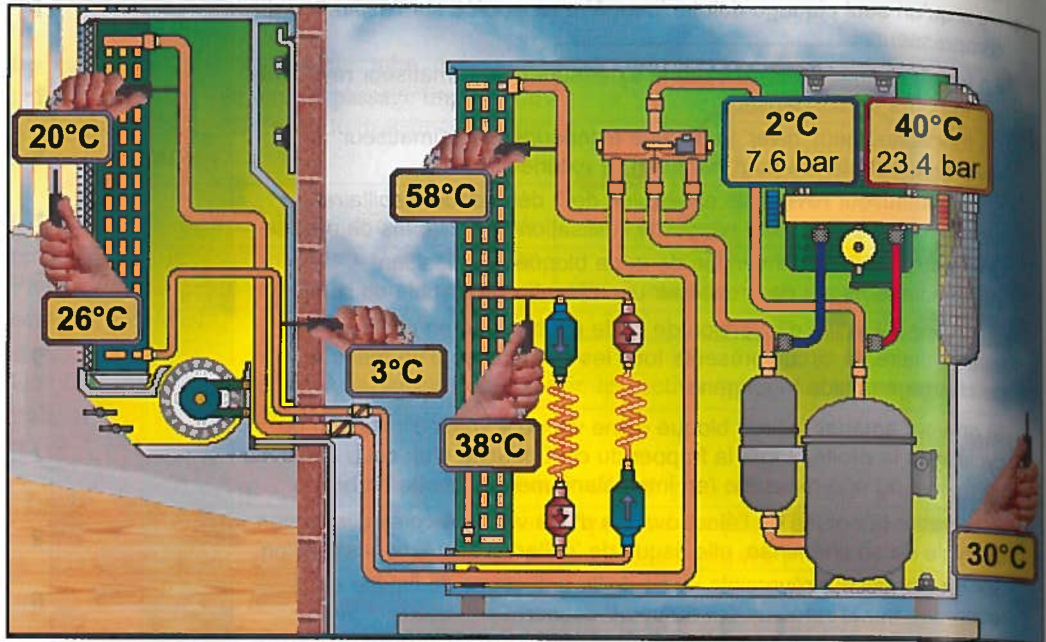
CORRIGÉ DE L'EXERCICE

1 : Faux. Cette voie est toujours raccordée sur le refoulement du compresseur. - 2 : Vrai. Et la batterie intérieure est toujours un évaporateur. - 3 : Vrai. On absorbe de la chaleur à l'air extérieur (en le refroidissant) puis le compresseur rejette cette chaleur dans le local, ce qui permet de le chauffer. C'est le principe du fonctionnement en pompe à chaleur. - 4 : Vrai. Ces 2 clapets sont nécessaires pour diriger le fluide liquide soit dans le capillaire 'été', soit dans le capillaire 'hiver'. - 5 : Faux. Au contraire, la HP serait anormalement faible puisqu'on aurait alors tous les symptômes d'un compresseur trop petit. - 6 : Faux. Un manque de charge provoque une HP et une BP trop faibles. Or, si la V4V est bloquée en position intermédiaire, le circuit présente tous les symptômes d'un compresseur trop petit, c'est-à-dire avec une BP au contraire anormalement élevée. - 7 : Faux. Il faut la frapper du côté vers lequel on désire amener le tiroir. - 8 : Vrai. Elle chauffe alors environ 9 fois plus que la normale. - 9 : Faux. La bouteille anti-coups de liquide est toujours raccordée sur l'aspiration du compresseur. - 10 : Faux. S'il n'y a aucun inconvénient (au contraire) à installer un modèle plus gros, il faut obligatoirement que ce soit un déshydrateur de type bidirectionnel.

Pour les climatiseurs réversibles de type Inverter voir page 407.

EXERCICE 2

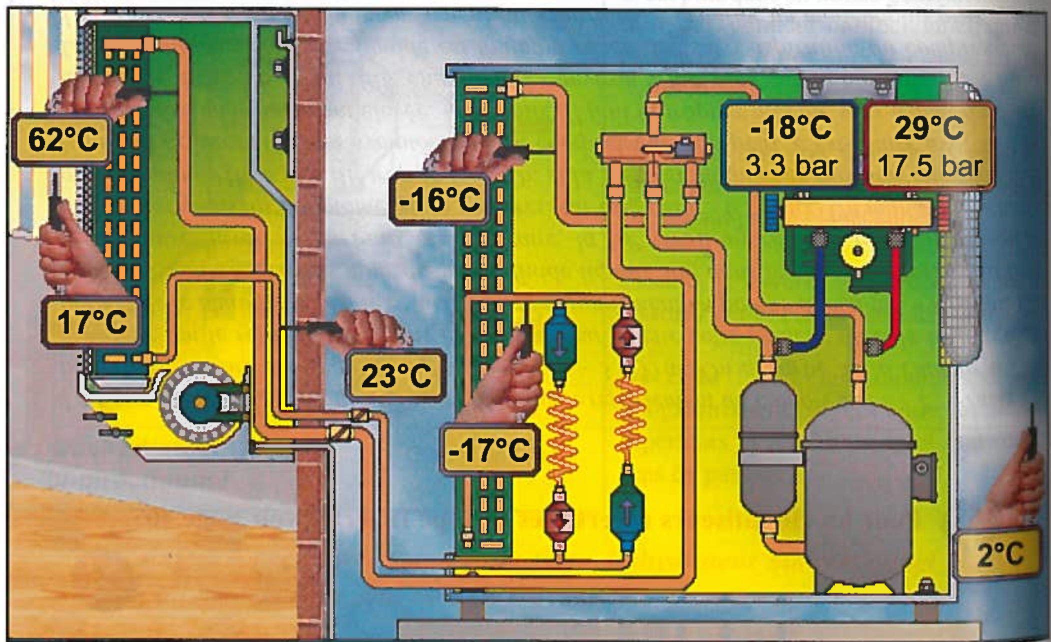
Nous sommes en régime été et il fait trop chaud en ambiance.



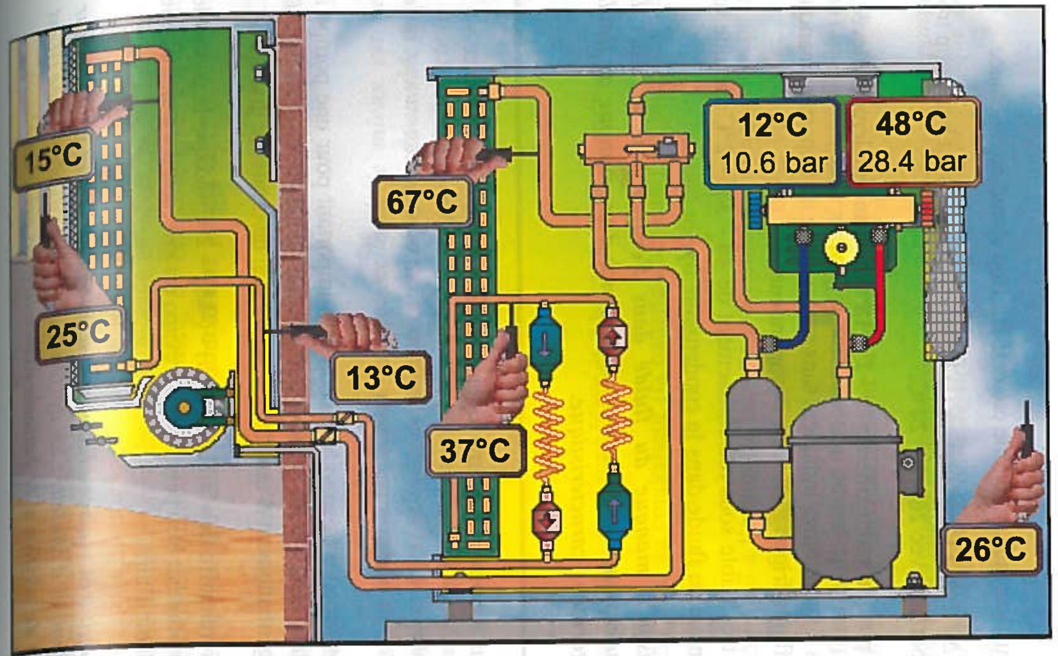
Quelle panne diagnostiqueriez-vous ? *Correction page 362.*

EXERCICE 3

Et quelle est la panne sur l'installation ci-dessous en régime hiver ? *Correction page 362.*

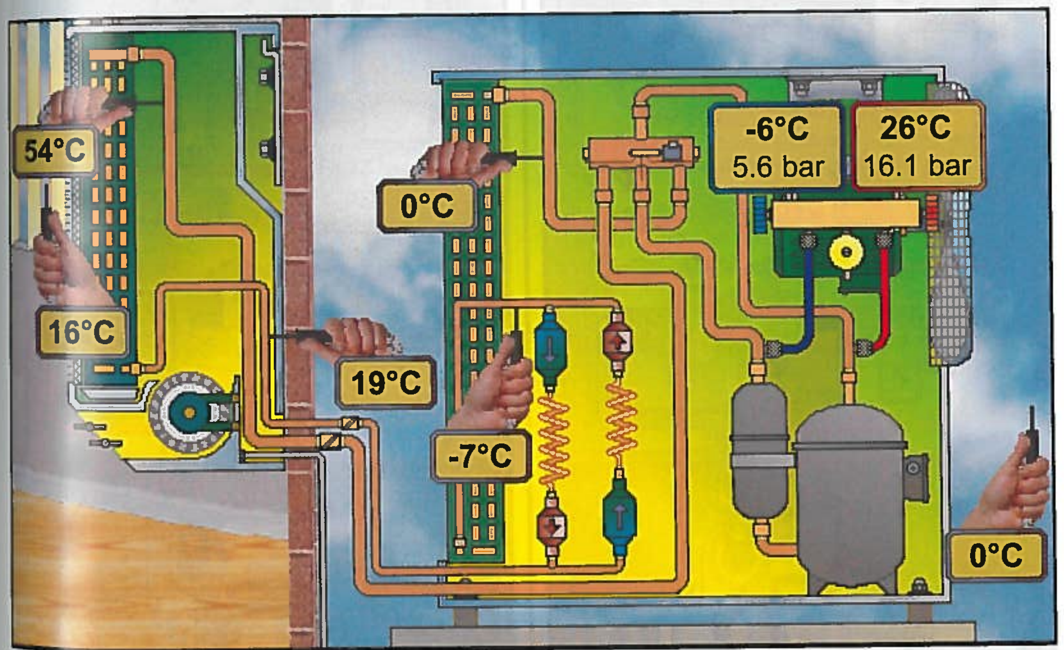


EXERCICE 4



Et avec ces relevés, quelle est la panne ? *Correction page 363.*

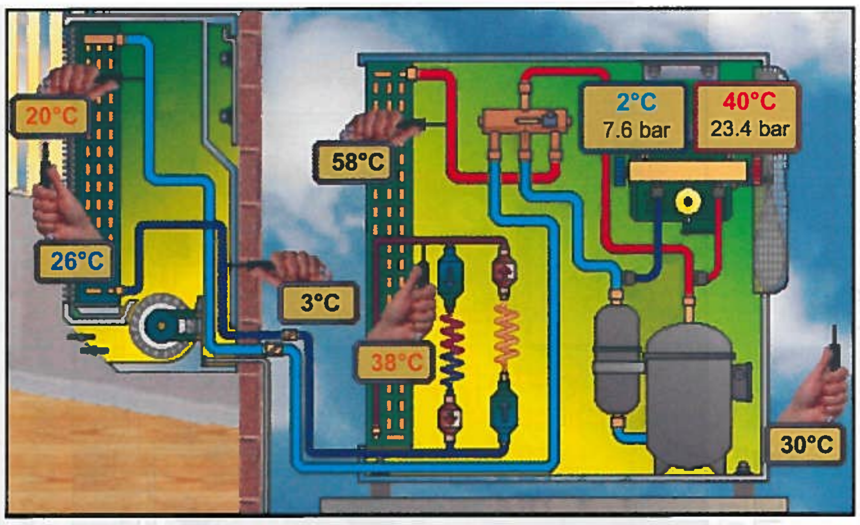
EXERCICE 5



Et à quelle panne vous font penser ces autres relevés ? *Correction page 363.*

Dépannage

Correction de l'exercice 2 :



Nous sommes en régime été et il fait trop chaud en ambiance.

Le Δθ total à l'évaporateur (la batterie intérieure) est beaucoup trop important avec **26** - **2** = **24°C.**

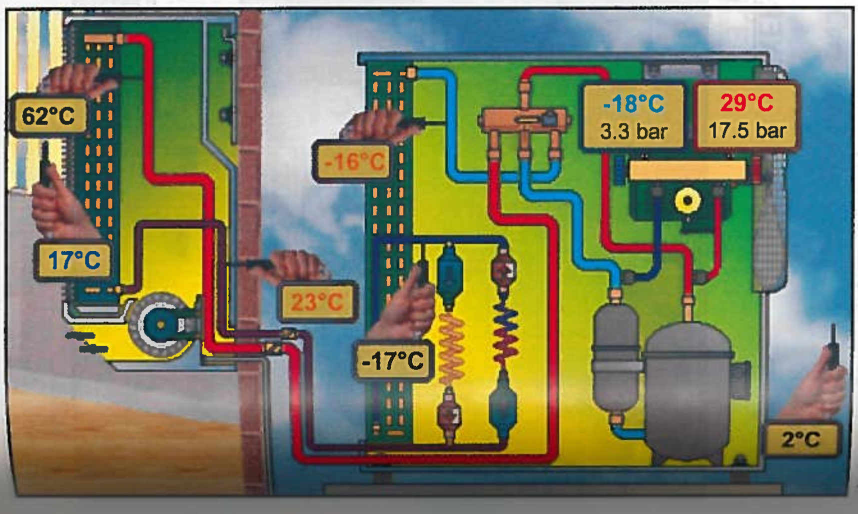
De plus, la surchauffe de **20** - **2** = **18°C** est anormalement élevée.

Ces 2 symptômes indiquent sans aucun doute un important manque de fluide frigorigène dans l'évaporateur.

Le très faible sous refroidissement de **40** - **38** = **2°C** indique un manque de fluide dans le condenseur.

Puisqu'il manque du fluide dans l'évaporateur et dans le condenseur, nous sommes en présence d'un manque de fluide frigorigène caractéristique.

Correction de l'exercice 3 :



Nous sommes en régime hiver et il fait trop froid en ambiance.

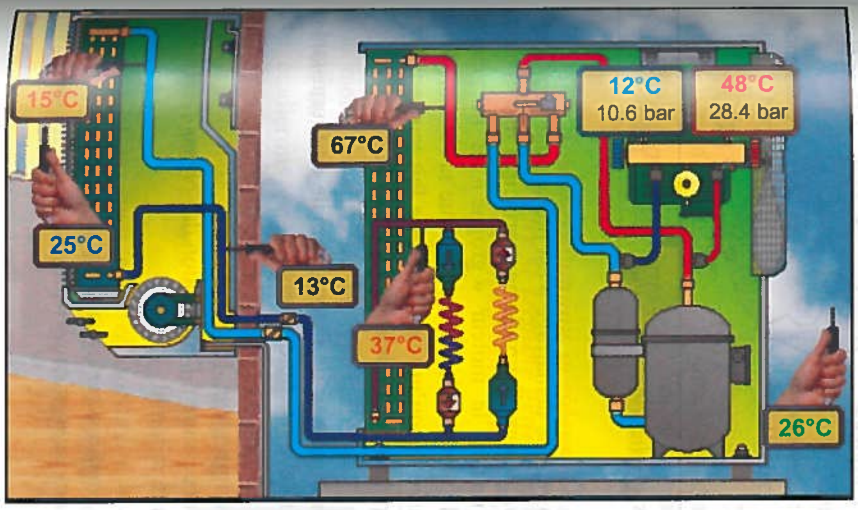
Attention, c'est la batterie extérieure qui sert d'évaporateur et la batterie intérieure qui sert de condenseur.

Le Δθ total à l'évapo beaucoup trop important pour une pompe à chaleur de **2** - (**-18**) = **20°C** indique une panne BP typique (ce Δθ est généralement d'une dizaine de °C afin de limiter le givrage).

La surchauffe très faible de (**-16**) - (**-18**) = **2°C** indique la panne de l'évaporateur trop petit : soit cet évapo est sale, soit il y a un manque de débit d'air.

Il s'agit très vraisemblablement d'une panne assez courante sur les pompes à chaleur : un dysfonctionnement du dégivrage (il est facile de vérifier si la batterie extérieure est prise en glace).

Correction de l'exercice 4 :



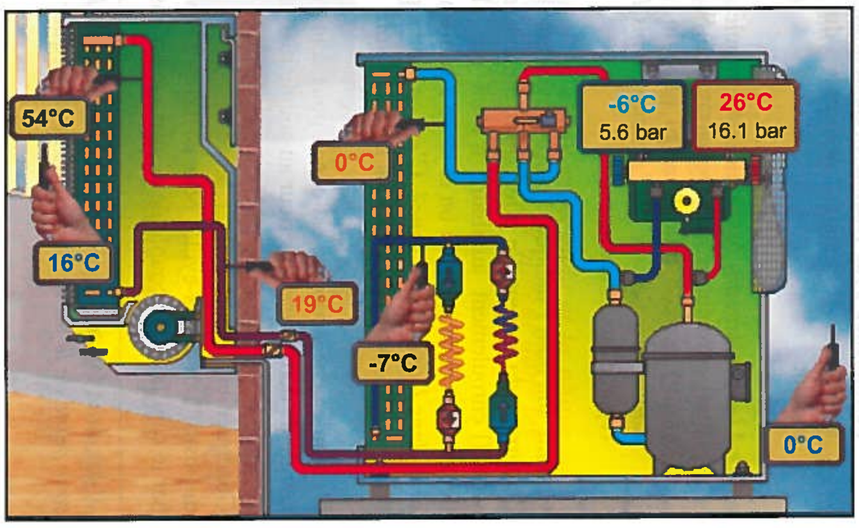
Nous sommes en régime été et il fait trop chaud en ambiance.

Alors que la batterie extérieure sur les pompes à chaleur est plutôt surdimensionnée pour limiter le givrage en hiver, le Δθ total sur cette batterie qui sert de condenseur est beaucoup trop important avec **48** - **26** = **22°C. Il s'agit donc d'une panne HP.**

Le sous refroidissement anormalement élevée de **48** - **37** = **11°C** indique sans aucun doute soit un excès de charge, soit une forte présence d'incondensables.

Sur une petite installation comme celle-ci, le mieux est de récupérer tout le fluide, de procéder à un léger tirage au vide puis de recharger avec la masse exacte indiquée par le constructeur.

Correction de l'exercice 5 :



Nous sommes en régime hiver et il fait trop froid en ambiance.

Le Δθ total au condenseur (la batterie intérieure) est plutôt faible avec **26** - (**16**) = **10°C** : **la BP est donc plutôt élevée.**

Le Δθ total à l'évapo (la batterie extérieure) est plutôt faible pour une pompe à chaleur avec de **0** - (**-6**) = **6°C** : **la HP est faible.**

La famille de panne donnant une HP faible avec une BP élevée est la panne du compresseur trop petit.

Avant d'incriminer le compresseur, rappelez-vous que cette panne peut avoir pour origine le tiroir de la V4V qui reste bloqué en position intermédiaire.

LES MOTEURS MONOPHASÉS

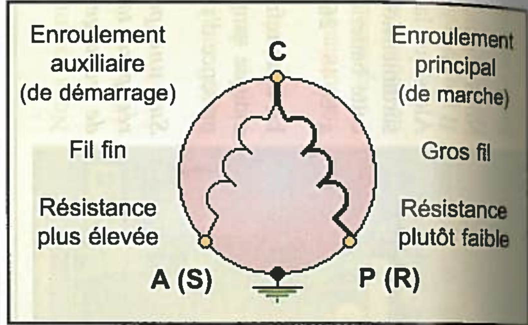
De nombreux climatiseurs de confort sont équipés d'un ou de plusieurs moteurs monophasés. Bien qu'ils soient très répandus, ces moteurs sont souvent beaucoup plus méconnus que leurs homologues triphasés.

Le but de ce chapitre n'est pas d'étudier pourquoi ou comment ces moteurs tournent, mais de savoir les raccorder électriquement et les dépanner, ainsi que leurs accessoires (condensateurs et éventuels relais de démarrage). Bien sûr, nous insisterons tout particulièrement sur les moteurs de compresseurs.

Les moteurs monophasés, généralités :

Les moteurs utilisés avec les petits compresseurs ou les ventilateurs alimentés en monophasé 220 V sont constitués de 2 enroulements :

- L'enroulement Principal **P** appelé souvent enroulement de Marche ou **R** (**R**un) par les anglo-saxons est constitué d'un gros fil prévu pour rester en permanence sous tension et capable de supporter l'intensité nominale du moteur.



- L'enroulement Auxiliaire **A** appelé aussi enroulement de Démarrage ou **S** (**S**tart) est constitué d'un fil plus fin, *donc généralement plus résistant dans les applications courantes*, ce qui permettra de le repérer facilement.

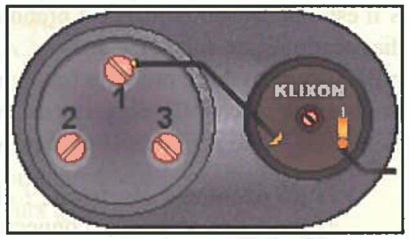
Comme son nom l'indique, l'enroulement auxiliaire « de démarrage » est prévu pour permettre le démarrage du moteur. En effet, si on alimente *uniquement* l'enroulement principal d'un moteur à vide (l'enroulement auxiliaire n'étant pas alimenté), le moteur « grogne » et ne peut pas démarrer. A ce moment, si on le lance à la main, le moteur démarre et continue sa rotation *dans le sens dans lequel on l'a lancé*. C'est ce qui se passe lorsqu'un vent contraire fait tourner l'hélice d'un ventilo-condenseur en sens inverse (voir : panne du condenseur trop petit *page 312*).

L'enroulement auxiliaire est conçu pour démarrer le moteur de façon optimale en fournissant un couple de démarrage supérieur au couple résistant de la machine entraînée.

Généralement, pour faciliter le démarrage du compresseur, les climatiseurs sont équipés d'un dispositif anti courts-cycles pour laisser le temps nécessaire à l'égalisation des pressions HP et BP par le capillaire : le couple de démarrage est ensuite minimal.

Il est donc fortement déconseillé de démarrer le compresseur avant cette égalisation de pression sous peine de le faire " caler " et de provoquer une coupure en sécurité.

Observons ci-dessous le bornier d'un compresseur hermétique monophasé.

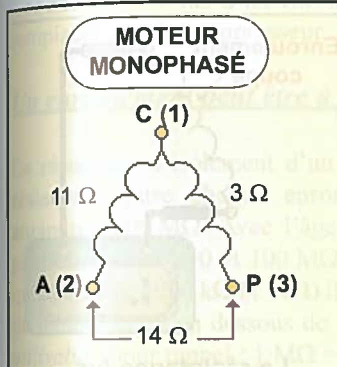


On repère facilement le klixon qui protège le compresseur contre une surchauffe accidentelle (notez que de nombreux compresseurs sont maintenant équipés d'une protection interne noyée dans les enroulements du moteur). Dans l'exemple, les 3 bornes du moteur sont repérées 1, 2 et 3.

Tous les fils étant débranchés, l'ohmmètre indique par exemple les résistances suivantes :

Entre 1 et 2 → 11 Ω
Entre 1 et 3 → 3 Ω *C'est la plus faible résistance*
Entre 3 et 2 → 14 Ω *C'est la plus forte résistance*

Utiliser un petit calibre, par exemple 200 Ω, car les résistances dans ces petits moteurs ne dépassent pas quelques dizaines d'ohms.



3 résistances différentes

On peut en conclure le schéma interne suivant :

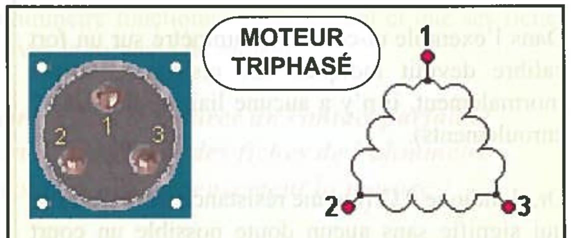
- **La résistance la plus forte** se trouve entre (**2**) et (**3**). La troisième borne (**1**) est donc le Commun **C**.
- **La résistance la plus faible** se trouve entre (**1**) et (**3**). Il s'agit de l'enroulement Principal **P**.
- C'est donc entre (**1**) et (**2**) qu'est raccordé l'enroulement Auxiliaire **A**.

Attention : Ces mesures doivent être effectuées avec la plus grande rigueur surtout s'il s'agit d'un modèle de moteur que vous ne connaissez pas ou dont vous n'avez pas le schéma de raccordement.

Une permutation accidentelle entre la phase principale et la phase auxiliaire se termine généralement par le grillage du moteur dans les secondes qui suivent la mise sous tension !

A NOTER :

Si le moteur avait été du type triphasé (souvent utilisé sur les modèles Inverter que nous étudierons *page 389*), l'ohmmètre aurait indiqué 3 résistances identiques entre les 3 bornes. Il semble donc difficile de se tromper en testant ce type de moteur.



3 résistances identiques

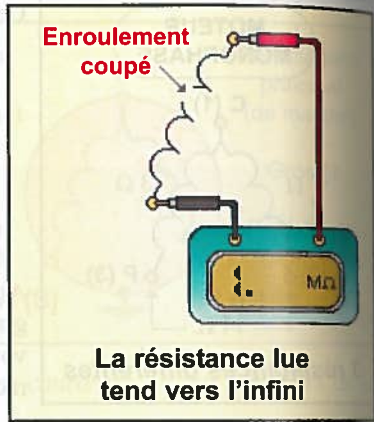
*Dans tous les cas, ayez le bon réflexe de lire les plaques signalétiques. Pensez également à regarder **à l'intérieur** du couvercle du bornier : **le schéma de raccordement s'y trouve parfois !***

Comment tester électriquement un moteur ?

S'il est une décision difficile à prendre pour un dépanneur débutant, c'est bien celle qui consiste à diagnostiquer un moteur « grillé ». Aussi, rappelons les défauts d'origine électrique qui risquent principalement de se produire (quel que soit le type de moteur). La plupart de ces défauts ont pour origine une surchauffe exagérée du moteur, le plus souvent provoquée par une intensité absorbée excessive. Cette surintensité peut provenir :

- **D'un problème électrique :** chute de tension prolongée, surtension accidentelle, mauvais réglage des sécurités, connections électriques mal serrées, dysfonctionnement de la carte électronique ou d'un capteur, etc.
- **D'un problème frigorifique :** HP anormalement élevée (panne du condenseur trop petit, panne de l'excès de charge, forte présence d'incondensables), formation d'acides dans le circuit, etc.
- **D'un problème mécanique :** grippage, bris d'un pièce, etc. Le plus souvent, ce type de problème est provoqué par un manque d'huile (surchauffe trop faible, mauvais tracé des tuyauteries, dénivelé trop important entre les unités, etc.).

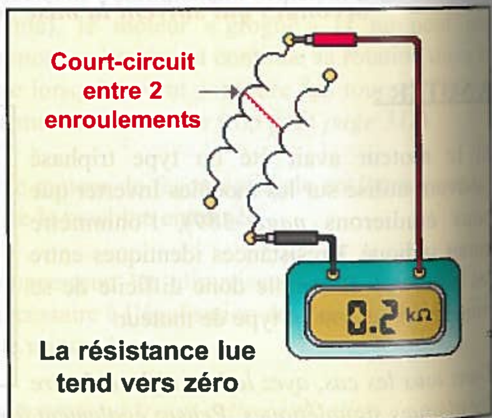
Un des enroulements peut être coupé.



A ce moment, l'ohmmètre placé aux bornes de l'enroulement indique une résistance très importante au lieu d'indiquer une valeur normale. Soyez bien sûr que votre ohmmètre fonctionne correctement et que ses fiches sont parfaitement en contact avec les bornes du moteur (n'hésitez pas à régler l'ohmmètre sur un fort calibre).

Rappelons qu'un enroulement de moteur classique a une résistance maximum de *quelques dizaines* d'ohms pour les petits moteurs et de *quelques dixièmes* d'ohms pour les plus gros. Si un enroulement est coupé, le compresseur hermétique devra être remplacé.

Il peut y avoir un court circuit entre 2 enroulements.



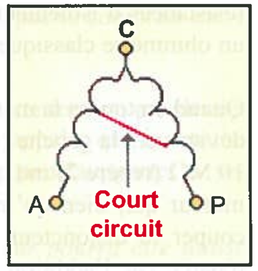
Pour procéder à ce test, il est indispensable d'enlever les fils de câblage (et les barrettes de couplage sur certains moteurs triphasés).

Dans l'exemple ci-contre, l'ohmmètre sur un fort calibre devrait indiquer une résistance infinie (normalement, il n'y a aucune liaison entre les 2 enroulements).

Or, il indique 0 Ω (ou une résistance très faible) ce qui signifie sans aucun doute possible un court circuit entre les 2 enroulements.

Si deux enroulements sont en court-circuit, le compresseur hermétique devra obligatoirement être remplacé.

Quand vous décâblez, n'hésitez jamais à faire un schéma très détaillé et à prendre un maximum de repères afin de recâbler ensuite « tranquille » et sans aucun risque d'erreur. Pensez à utiliser votre téléphone portable pour prendre une photo du bornier en gros plan. Cela pourra souvent être utile.



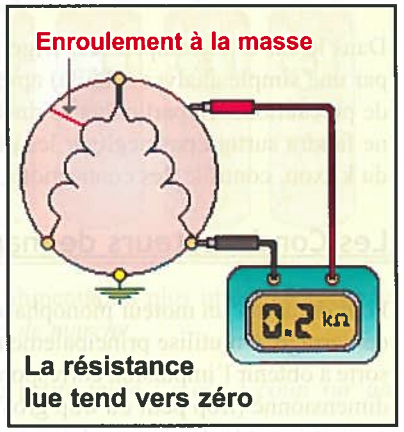
Un diagnostic de court-circuit est moins évident sur un moteur monophasé lorsque les 2 enroulements ne sont pas déconnectables (le commun **C** est alors câblé à l'intérieur du moteur, ce qui est le cas des moteurs que nous utilisons en climatisation).

En effet, selon la position exacte du court-circuit, les 3 mesures effectuées entre les 3 bornes (**C-A**, **C-P** et **P-A**) *donnent des valeurs plutôt faibles mais assez incohérentes entres elles.*

Par exemple, la résistance mesurée entre A et P peut ne pas correspondre à la somme des résistances C-A + C-P.

Comme dans le cas d'un enroulement coupé, un court-circuit entre enroulements nécessitera le remplacement du compresseur.

Un enroulement peut être à la masse.



La résistance d'isolement d'un moteur neuf (c'est-à-dire la résistance entre chaque enroulement et la masse) peut atteindre 1000 MΩ. Avec l'âge, cette résistance diminue et peut chuter entre 10 et 100 MΩ. On considère généralement qu'à partir de 1000 kΩ (1 MΩ) il faut prévoir le remplacement du moteur et qu'en dessous de 500 kΩ, *le moteur n'est plus utilisable* (pour rappel : 1 MΩ = 1 000 kΩ = 1 000 000 Ω).

Si la masse est franche, l'ohmmètre placé entre une borne du moteur et la carcasse métallique indique 0 Ω (ou une résistance très faible) *au lieu d'indiquer l'infini.*

Notez que cette mesure doit être effectuée *sur chaque borne* du moteur, avec le plus fort calibre.

A chaque mesure, soyez bien sûr que votre ohmmètre fonctionne correctement et que ses fiches sont parfaitement en contact avec la borne et avec la carcasse du moteur.

Grattez éventuellement la peinture pour assurer un contact parfait et ne touchez surtout pas la partie métallique des fiches de l'ohmmètre avec vos doigts car vous fausseriez très sérieusement la mesure !

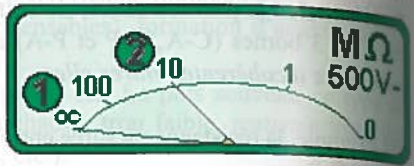
Dans l'exemple ci-dessus, la mesure indique sans aucun doute possible une mise à la masse franche de l'enroulement contrôlé.

Cependant, la mise à la masse d'un enroulement peut être plus ou moins franche...

En effet, la résistance d'isolement entre l'enroulement et la carcasse peut paraître *suffisamment élevée* avec un ohmmètre classique, quand le moteur est froid. Par contre, quand le moteur est mis sous tension et qu'il commence à chauffer, la résistance d'isolement peut devenir *suffisamment faible* pour provoquer une coupure par le disjoncteur différentiel de l'installation.

Il faut alors utiliser un ohmmètre à magnéto (ou un appareil équivalent) qui permet de contrôler les résistances d'isolement en utilisant une tension continue de 500 V, au lieu de quelques volts avec un ohmmètre classique !

Quand on tourne la manivelle de la magnéto, si la résistance d'isolement est correcte, l'aiguille doit dévier vers la gauche (repère **1**) et indiquer l'infini (α). Une déviation plus faible, par exemple de 10 MΩ (repère **2**) indique une faiblesse de l'isolement du moteur qui, bien qu'insuffisante *à elle seule* pour faire couper le disjoncteur différentiel, doit être signalée et réparée car l'addition de petits défauts d'isolement sur plusieurs machines entraînera tôt ou tard un arrêt total de l'installation.



En résumé, le test d'un moteur électrique suspect nécessite beaucoup de rigueur. Dans tous les cas, il ne suffira pas de remplacer le moteur mais il faudra rechercher en plus l'origine de la panne (électrique, mécanique ou frigorifique) de sorte à lui interdire radicalement toute possibilité de se reproduire.

Dans le cas d'un compresseur frigorifique, la forte probabilité d'une présence d'acides (détectable par une simple analyse d'huile) après le « grillage » du compresseur nécessitera encore davantage de précautions, en particulier le rinçage du circuit et l'installation d'un déshydrateur anti-acides. Il ne faudra surtout pas négliger les problèmes électriques (remplacement éventuel du contacteur et du klixon, contrôle des connections, contrôle des sécurités, etc.).

Les Condensateurs de marche et de démarrage :

Pour démarrer un moteur monophasé à phase auxiliaire, il est nécessaire de créer une impulsion de démarrage. On utilise principalement un condensateur branché en série avec la phase auxiliaire de sorte à obtenir l'impulsion correspondant au couple de démarrage désiré. Si le condensateur est mal dimensionné (trop petit ou trop gros), l'impulsion obtenue risque de ne plus être capable d'assurer correctement le démarrage du moteur qui risque alors de " caler " et de couper en sécurité.

Sur nos moteurs, nous pouvons rencontrer 2 types de condensateurs :

- **Les condensateurs de marche** (au papier) ont une faible capacité (rarement plus d'une trentaine de µF) et des dimensions importantes. Ils sont conçus pour rester sous tension en permanence sans aucun échauffement excessif.
- **Les condensateurs de démarrage** (électrolytiques) possèdent au contraire une importante capacité (pouvant dépasser 100 µF) bien qu'ils soient comparativement de dimensions plutôt réduites. Ils ne doivent absolument pas rester sous tension sinon ils s'échauffent très rapidement et risquent d'exploser. *On considère généralement que la mise sous tension ne doit pas dépasser 5 secondes et que 20 démarrages à l'heure est un maximum tolérable.*

Les dimensions géométriques d'un condensateur dépendent :

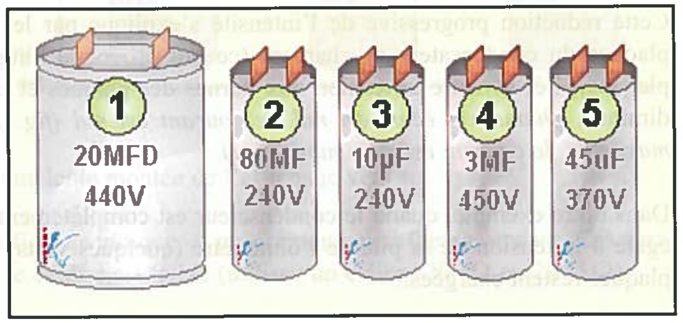
- **De la valeur de sa capacité :** plus la capacité est importante et plus le condensateur est gros. Cette capacité est indiquée en microfarad (µF ou uF ou MF ou MFD selon les fabricants).

  La tolérance de fabrication est souvent indiquée, par exemple : 10 MF ± 10% (capacité comprise entre 9 et 11 µF) ou encore 88-108 MFD (capacité comprise entre 88 et 108 µF).
- **De la valeur de la tension** indiquée sur le condensateur. Plus cette tension est élevée, plus le condensateur est gros. A cet effet, il n'est pas inutile de rappeler que la tension indiquée représente *la tension maximum* que le condensateur peut supporter à ses bornes sans risquer de détérioration ou d'échauffement excessif.

  Ainsi, s'il est gravé par exemple 20 µF / 360 V, le condensateur pourra être utilisé sans problème sous une tension d'alimentation de 220 V mais il ne devra en aucun cas être raccordé sur un réseau 380 V.

Comment reconnaître le type de condensateur ?

Examinons les 5 condensateurs ci-dessous.



- **Le n°1**, beaucoup plus gros que les 4 autres, a une capacité plutôt faible en regard de ses dimensions importantes. *C'est à l'évidence un condensateur de marche.*
- **Les condensateurs n°3 et 4** ont une faible capacité. Notez qu'à taille égale, le condensateur n°4, prévu pour supporter une tension d'alimentation plus importante que le n°3, à une capacité plus faible. *Ce sont 2 condensateurs de marche.*
- **Le condensateur n°2** a une forte capacité malgré sa petite taille : *c'est à coup sûr un condensateur de démarrage.*
- **Le condensateur n° 5** a une capacité légèrement plus faible que le n°2 mais il peut supporter une tension plus élevée : *c'est également un condensateur de démarrage.*

Rappelez-vous que si un condensateur de marche peut rester indéfiniment sous tension sans échauffement excessif, un condensateur de démarrage ne doit pas rester sous tension plus de 5 secondes ni subir plus de 20 démarrages à l'heure.

A présent, avant de voir en détails comment tester un condensateur suspect, il n'est sûrement pas inutile de rappeler ce qui se passe lorsqu'on raccorde un ohmmètre à ses bornes.

Fig.1 : Les deux plaques du condensateur étant complètement déchargées, la tension U_1 à ses bornes est nulle. Dès qu'on connecte l'ohmmètre, son aiguille dévie aussitôt vers 0, ce qui prouve qu'un fort courant I_1 traverse alors les deux plaques.

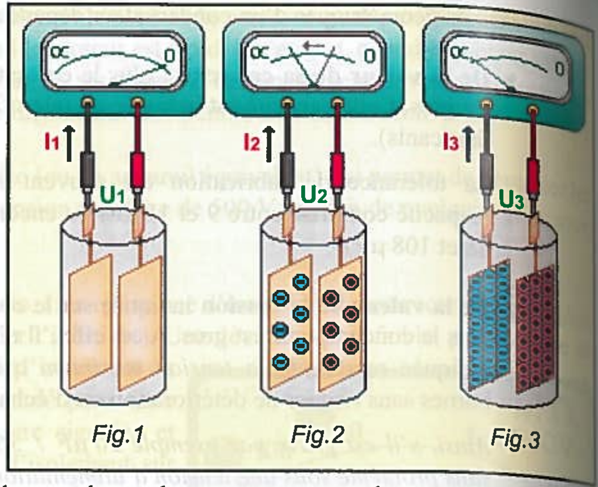


Fig.1 Fig.2 Fig.3

Fig.2 : On constate ensuite que l'aiguille de l'ohmmètre revient lentement vers la gauche, ce qui prouve que le courant I_2 qui traverse les plaques est plus faible que le courant I_1 précédent. Simultanément, la tension U_2 aux bornes du condensateur augmente lentement.

Fig.3 : L'aiguille de l'ohmmètre indique l'infini (∞), ce qui prouve que le courant I_3 est nul et donc que les plaques du condensateur ne sont plus traversées par aucun courant. La tension U_3 aux bornes du condensateur est alors égale à la tension délivrée par la pile de l'ohmmètre (le condensateur est chargé).

Cette réduction progressive de l'intensité s'explique par le fait qu'au fur et à mesure que les plaques du condensateur se chargent (ce qui provoque l'augmentation de la tension entre ces plaques), l'écart entre la tension aux bornes des plaques et la tension de la pile de l'ohmmètre diminue. *Quand cet écart est nul, le courant est nul (fig.3). A l'inverse, quand cet écart est maximum, le courant est maximum (fig.1).*

Dans notre exemple, quand le condensateur est complètement chargé, la tension à ses bornes est égale à la tension de la pile de l'ohmmètre (quelques volts) et quand on retire l'ohmmètre, les plaques restent chargées.

Mais, quand le condensateur est raccordé sur un réseau 220 V, cela signifie qu'il peut y avoir également 220 V à ses bornes, même si l'alimentation est débranchée !

DANGER : A ce moment, si on met les doigts sur ses bornes on subit le même type de choc électrique qu'en mettant ses doigts un court instant dans une prise de courant.



De la même manière, raccorder un ohmmètre sur un condensateur chargé *équivaut à le brancher sur une prise de courant* (il n'y a plus qu'à espérer que la protection de l'appareil fasse vite et bien son travail).

Il est donc impératif, *avant toute intervention sur un condensateur,* de le débrancher et de s'assurer qu'il est complètement déchargé, par exemple en court-circuitant ses bornes à l'aide d'un tournevis à manche isolé (attention, l'étincelle produite est parfois très violente).

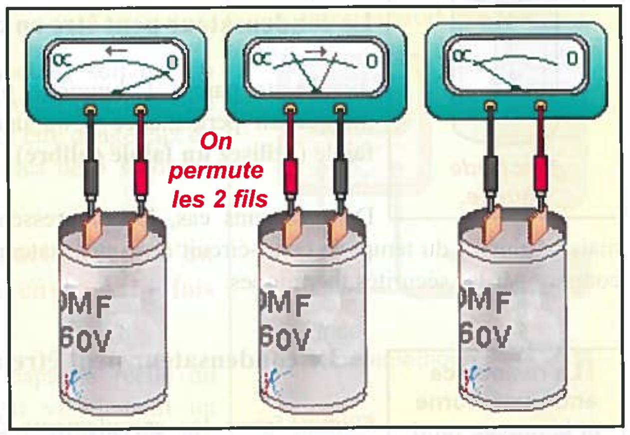


Certains condensateurs sont équipés d'une résistance de décharge raccordée entre les 2 bornes. Cette résistance est suffisamment élevée (environ 15 kΩ) pour ne pas perturber le fonctionnement mais elle permet au condensateur de se décharger lentement quand il n'est plus alimenté.

Même si le condensateur est équipé d'une résistance de décharge, *prenez quand même la précaution de court-circuiter ses bornes avant toute intervention.*

En effet, la décharge complète d'un condensateur hors tension n'est pas instantanée et peut nécessiter plusieurs minutes.

Avant d'étudier les défauts usuels, rappelons qu'en raccordant un ohmmètre aux bornes d'un condensateur en bon état *(qu'on aura préalablement décâblé puis déchargé)*, l'aiguille doit se déplacer rapidement vers le 0 puis revenir lentement vers l'∞.



Si maintenant on permute les 2 fils de l'ohmmètre (et donc les polarités), le même phénomène se reproduit.

Avec un ohmmètre digital, beaucoup plus fréquent de nos jours, l'effet est moins visuel.

Cependant, on distingue nettement une lente montée de l'affichage vers +∞.

Puis, en permutant les 2 cordons, l'affichage indique -∞ puis remonte vers 0 puis vers +∞. Ces variations sont d'autant plus lentes que le calibre est faible (utilisez un calibre 20 kΩ ou 200 kΩ).

Si vous manquez d'expérience, entraînez-vous sur des condensateurs neuf et observez bien ce qui se passe. En dépannage, cela pourra vous éviter bien des hésitations et des déboires !

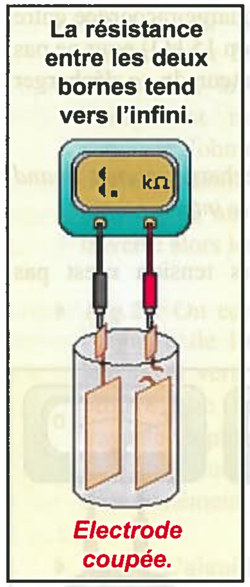
Comment tester les condensateurs ?

La mesure à l'ohmmètre, quand elle donne les résultats que nous venons de voir, est une excellente indication de la « bonne santé » du condensateur.

Néanmoins, elle devra être complétée par une mesure de la capacité réelle du condensateur (nous allons bientôt voir comment l'effectuer).

Maintenant, étudions les défauts usuels des condensateurs (coupure, court-circuit, masse, manque de capacité) et comment les diagnostiquer.

Dès à présent, notez qu'un gonflement de l'enveloppe du condensateur est absolument anormal.

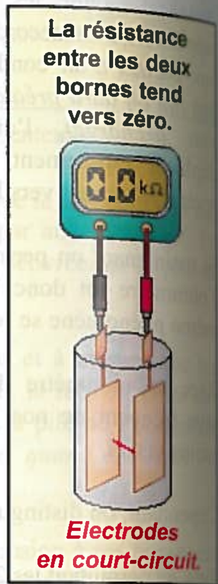


⇐ Le condensateur peut être coupé.

A ce moment, l'ohmmètre placé aux bornes **sur un fort calibre** indique en permanence l'infini. Avec cette panne, tout se passe comme si le condensateur n'existait pas. Or, si le moteur en est équipé, c'est qu'il sert à quelque chose.

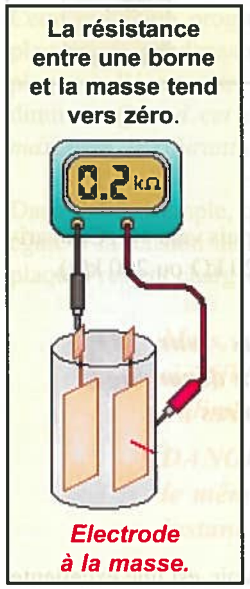
Nous pouvons donc imaginer que le moteur ne fonctionnera pas normalement ou qu'il n'arrivera pas à démarrer, ce qui provoquera le plus souvent une coupure par les sécurités thermiques (klixon, sécurité interne, etc.).

Le condensateur peut être en court-circuit ⇒



Avec cette panne, l'ohmmètre placé aux bornes indique en permanence 0 ou une résistance très faible (**utilisez un faible calibre**).

Dans certains cas, le compresseur peut démarrer mais la plupart du temps le court-circuit du condensateur provoquera une coupure par les sécurités thermiques.



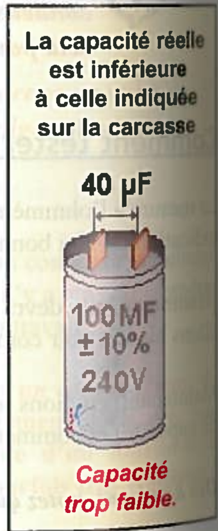
⇐ Le condensateur peut être à la masse.

Comme pour les enroulements des moteurs, les électrodes des condensateurs sont isolées par rapport à la masse (voir *page 367*).

Si la résistance d'isolement diminue exagérément (ce qui risque surtout d'arriver en cas de surchauffe excessive) le courant de fuite provoque l'arrêt de l'installation par le disjoncteur différentiel.

Cette panne risque surtout de se produire si l'enveloppe du condensateur est métallique. A ce moment, la résistance mesurée entre une borne et la carcasse tend vers 0 au lieu d'indiquer l'∞ (il faudra tester les 2 bornes).

La capacité réelle peut être trop faible ⇒



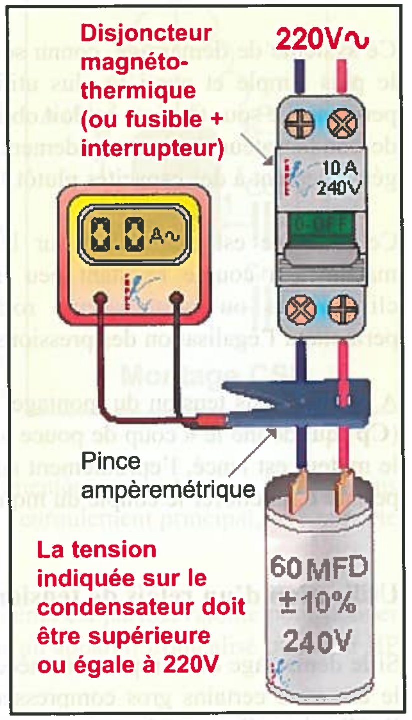
Dans ce cas, la valeur réelle de la capacité mesurée aux bornes du condensateur est inférieure à la capacité indiquée, en tenant compte des tolérances de fabrication.

Dans l'exemple ci-contre, la capacité mesurée devrait être comprise entre 90 et 110 µF. Le condensateur est donc en réalité trop petit et il ne donne pas l'impulsion et le couple de démarrage attendu. Le moteur a alors de fortes chances de ne plus démarrer et de couper en sécurité.

Regardons maintenant comment mesurer la capacité réelle d'un condensateur, à partir d'un petit montage facilement réalisable sur le chantier.

ATTENTION : Afin d'éviter tout risque d'accident, il est impératif de tester sérieusement le condensateur à l'ohmmètre avant de réaliser ce montage.

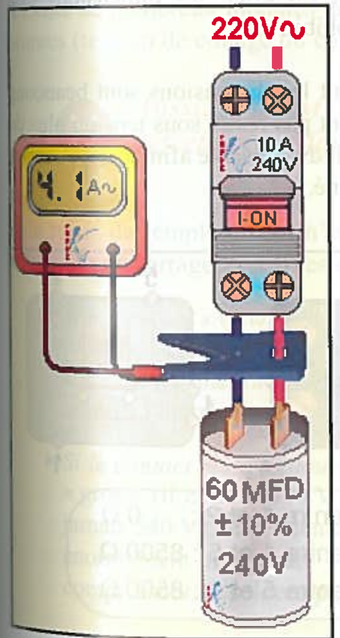
Le condensateur étant *en apparence* en bon état, il suffit de le raccorder sur le réseau 220 V et de mesurer l'intensité absorbée (Bien sûr, la tension indiquée sur le condensateur doit être *au minimum* de 220 V).



Il est *indispensable* de protéger le montage soit par un disjoncteur, soit par un fusible et un interrupteur. La mesure doit être la plus brève possible car il peut être dangereux de laisser un condensateur de démarrage plus de 5 secondes sous tension.

Alimenté en 220 V alternatif, la capacité réelle d'un condensateur (en µF) est égale à environ 14 fois l'intensité absorbée (en A).

Par exemple, on désire contrôler la capacité réelle du condensateur ci-dessous (comme c'est visiblement un condensateur de démarrage, la mise sous tension devra être très brève). Puisqu'il est gravé 240 V, on peut le brancher sur un réseau 220 V. Sa capacité annoncée étant de 60 µF ±10% (donc comprise entre 54 et 66 µF), il devrait théoriquement absorber environ : 60 / 14 = 4,3 A.



On installe un fusible ou un disjoncteur pouvant supporter cette intensité. On positionne la pince et on règle l'ampèremètre sur le calibre 10 A par exemple. On met alors le condensateur sous tension, on lit l'intensité absorbée *et on coupe aussitôt l'alimentation.*

ATTENTION DANGER : Lorsque vous mesurez la capacité d'un condensateur de démarrage, la mise sous tension ne doit pas dépasser 5 secondes.

L'expérience montre que cette durée est largement suffisante pour effectuer la mesure, il suffit d'un peu d'organisation. Dans notre exemple, le condensateur absorbe 4,1 A. Sa capacité réelle est d'environ 4,1 x 14 = 57 µF. Ce condensateur est donc tout à fait correct puisque sa capacité doit être comprise entre 54 et 66 µF. Si l'intensité mesurée avait été par exemple de 3 A, la capacité réelle aurait été de 3 x 14 = 42 µF. La valeur trouvée étant en dehors des tolérances, il aurait fallu remplacer le condensateur.

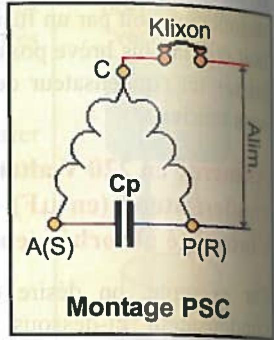
Les systèmes de démarrage utilisés en clim de confort :

Sur les climatiseurs classiques, nous rencontrerons essentiellement deux types de démarrage des moteurs monophasés : par condensateur permanent ou par condensateur de démarrage + relais de tension (nous évoquerons le cas des climatiseurs de type 'Inverter' *page 389*).

Démarrage avec un condensateur permanent :

Ce système de démarrage, connu sous le nom de montage PSC (**P**ermanent **S**plit **C**apacitor) est le plus simple et aussi le plus utilisé sur nos climatiseurs. Le condensateur devant rester en permanence sous tension, ce doit obligatoirement être un condensateur de marche. Comme ce type de condensateur devient rapidement très volumineux quand la capacité augmente, on se limite généralement à des capacités plutôt faibles (rarement plus d'une dizaine de µF).

Ce montage est très utilisé sur les petits moteurs entraînant des machines à couple résistant peu important (ventilateurs de petits climatiseurs ou compresseurs rotatifs avec détendeur capillaire permettant l'égalisation des pressions à l'arrêt).



Montage PSC

A la mise sous tension du montage, c'est le condensateur permanent (**Cp**) qui donne le « coup de pouce » permettant le démarrage. Quand le moteur est lancé, l'enroulement auxiliaire reste sous tension ce qui permet d'améliorer le couple du moteur en fonctionnement.

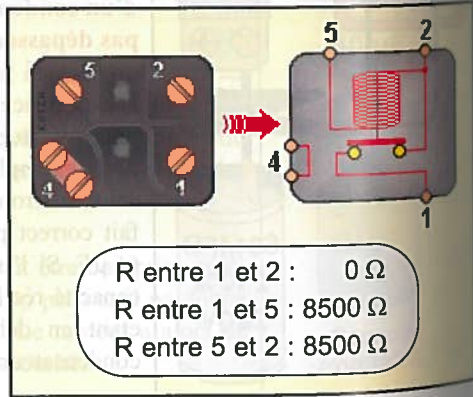
Utilisation d'un relais de tension :

Si le démarrage du compresseur nécessite un condensateur avec une capacité importante (ce sera le cas avec certains gros compresseurs monophasés à pistons équipant d'anciens climatiseurs), l'utilisation d'un condensateur permanent n'est plus possible. En effet, les dimensions trop volumineuses du condensateur deviendraient très rapidement prohibitives.

On est alors obligé d'utiliser un condensateur de démarrage dont les dimensions sont beaucoup plus faibles. Cependant, attendu que ces condensateurs ne peuvent pas rester sous tension plus de quelques secondes, l'utilisation d'un relais de démarrage devient indispensable afin de déconnecter automatiquement le condensateur dès que le démarrage est terminé.

On utilise alors un relais de tension. Nous avons représenté ci-contre le modèle de relais de tension le plus répandu, qui se présente sous la forme d'une boite noire hermétique.

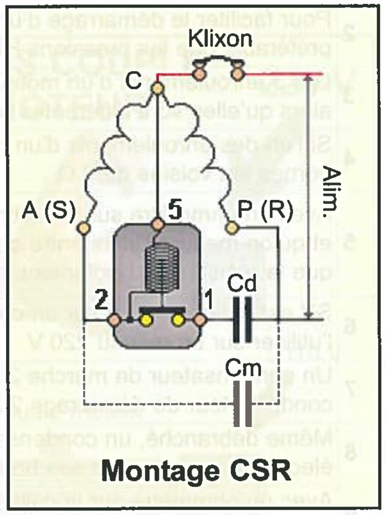
Nous avons représenté le schéma interne du relais et indiqué la valeur des résistances que l'on peut mesurer avec un ohmmètre.



Notez que la borne 4 n'est pas utilisée intérieurement et qu'elle n'est prévue que pour des commodités de câblage.

Étudions maintenant le fonctionnement du relais de tension sur le schéma ci-dessous, représenté au repos. Notez que ce montage est connu sous le nom de Montage CSR (Capacitor **S**tart and **R**un).

Dès qu'on alimente le montage, le courant traverse le klixon et l'enroulement principal (C-P). Simultanément, il traverse l'enroulement de démarrage (C-A), le contact 2-1 qui est fermé au repos et le condensateur de démarrage (**Cd**). Toutes les conditions étant requises pour démarrer et le moteur commence sa rotation.



Montage CSR

Au fur et à mesure que le moteur prend de la vitesse, une tension induite (créée par la rotation du moteur) prend naissance aux bornes de l'enroulement auxiliaire (C-A) et cette tension s'ajoute à la tension d'alimentation.

C'est ainsi qu'à la fin du démarrage, la tension induite étant maximale, la tension aux bornes de l'enroulement auxiliaire (C-A) peut atteindre 400 V (avec une alimentation en 220 V).

La bobine du relais de tension est précisément conçue pour coller quand la tension à ses bornes dépasse la tension d'alimentation d'une valeur déterminée par le constructeur.

Quand le contact 1-2 s'ouvre, la bobine du relais reste alimentée par la tension induite dans l'enroulement auxiliaire (cet enroulement, bobiné par-dessus l'enroulement principal, se comporte alors comme le secondaire d'un transformateur).

Le condensateur de marche **Cm** représenté en grisé sur le schéma est parfois rajouté pour donner au moteur un fort couple en fonctionnement (par exemple sur un appareil tropicalisé quand la HP risque de devenir très importante).

Il existe de nombreux modèles de relais de tension différents, ayant chacun leurs caractéristiques propres (tension de collage du contact, tension de décollage du contact, etc.).

Aussi, s'il est nécessaire de remplacer un relais de tension défectueux, il faut toujours utiliser un relais de même référence.

Si le relais de remplacement n'est pas parfaitement adapté au moteur, soit son contact s'ouvrira trop tôt au démarrage, soit il restera collé en permanence.

- *Si le contact s'ouvre trop tôt*, par exemple parce que le relais de tension est « trop petit » (il colle à 130 V, c'est-à-dire dès la mise sous tension et l'enroulement auxiliaire n'est alimenté qu'une fraction de seconde), le moteur ne peut pas démarrer. Il grogne et coupe aux sécurités thermiques.
- *Si le contact reste toujours fermé*, par exemple parce que le relais de tension est bien trop « gros » (il colle à 400 V et la tension aux bornes de l'enroulement auxiliaire ne dépasse jamais 340 V), le condensateur de démarrage reste en permanence sous tension et il chauffe énormément avant de « rendre l'âme ». Toute tentative ultérieure de démarrage du compresseur se soldera par une coupure des sécurités thermiques.

	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°25 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX
1	Sur un moteur monophasé, la résistance de l'enroulement de marche est plus importante que celle de l'enroulement de démarrage		
2	Pour faciliter le démarrage d'un moteur de compresseur, il est préférable que les pressions HP et BP soient égalisées		
3	Les 3 enroulements d'un moteur triphasés ont une résistance identique alors qu'elles sont différentes sur un moteur monophasé		
4	Si l'un des enroulements d'un moteur est coupé, la résistance à ses bornes est voisine de 0 Ω		
5	Avec un ohmmètre sur le calibre 20 MΩ, si on décâble le compresseur et qu'on mesure l'infini entre chaque borne et la masse, on peut dire que la résistance d'isolement du moteur est tout à fait correcte		
6	S'il est indiqué 380 V sur un condensateur on ne peut absolument pas l'utiliser sur un réseau 220 V		
7	Un condensateur de marche 20 µF / 380 V est plus volumineux qu'un condensateur de démarrage 20 µF / 380 V		
8	Même débranché, un condensateur peut provoquer une décharge électrique si on touche ses bornes		
9	Avec un ohmmètre sur le calibre 200 Ω, si l'on mesure 0 Ω aux bornes d'un condensateur, il est vraisemblablement en court circuit		
10	Raccordé en 220 V, si un condensateur absorbe 2 A sa capacité réelle est d'environ 30 µF		

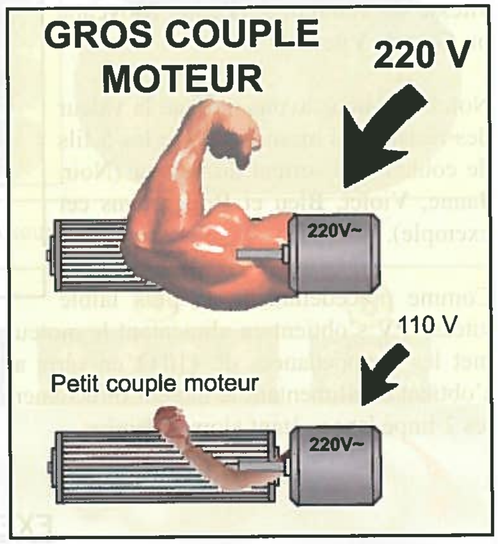
CORRIGÉ DE L'EXERCICE — VRAI — FAUX

1 : Faux. c'est l'inverse. - 2 : Vrai. Démarrer le compresseur alors que les pressions ne sont pas égalisées risque de provoquer une coupure en sécurité (protection interne, klixon ou disjoncteur). - 3 : Faux. Depuis quand y-a-t-il 3 enroulements sur un moteur monophasé ? - 4 : Faux. La résistance est au contraire infinie. Une résistance nulle (l'ohmmètre étant sur le plus petit calibre) indiquerait que l'enroulement est en court circuit. - 5 : Faux. On ne peut être certain que la résistance d'isolement est correcte qu'en utilisant un mégohmmètre. - 6 : Faux. La tension 'plaquée' sur un condensateur correspond à la tension maximum d'utilisation. On peut donc sans problème utiliser un condensateur 380 V sur du 220 V. - 7 : Vrai. Rappelez-vous toutefois qu'un condensateur de démarrage ne doit pas rester sous tension plus de 5 secondes avec une vingtaine de démarrages par heure au maximum. - 8 : Vrai. Avant de manipuler un condensateur assurez-vous toujours qu'il est déchargé. - 9 : Vrai. Et on peut confirmer le défaut en permutant les 2 pointes de touche de l'ohmmètre qui indiqueront alors également 0 Ω. - 10 : Vrai. En 220V, un condensateur absorbe environ 1 A par tranche de 14 µF (donc environ 2 A pour 30 µF.

Si vous souhaitez approfondir vos connaissances sur les différents types de moteurs que l'on peut rencontrer dans les métiers du froid et du génie climatique, consultez le manuel du Dépanneur (1387 pages en couleurs, du même auteur).

Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

MOTEURS MONOPHASÉS MULTI-VITESSES

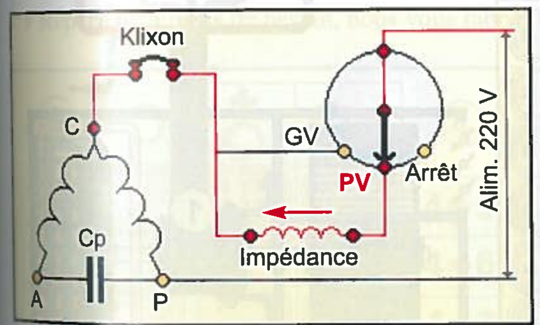


Avant tout, rappelons-nous que le couple d'un moteur c'est-à-dire sa capacité à entraîner une machine, dépend du carré de la tension d'alimentation. Ainsi, si un moteur est prévu pour fonctionner en 220 V et qu'on l'alimente en 110 V (soit 2 fois moins), le couple de ce moteur est alors divisé par 4.

A ce moment, *si le couple résistant de la machine entraînée est très important* (un compresseur par exemple), le moteur « cale ». Etant alors quasiment à l'arrêt, le moteur absorbe en permanence son intensité de démarrage en chauffant dangereusement. Il ne reste alors plus qu'à espérer que les protections électriques coupent très rapidement son alimentation.

A l'inverse, *si le couple résistant de la machine entraînée est plutôt faible* (par exemple un ventilateur tangentiel tel que ceux utilisés dans de nombreuses unités intérieures), une réduction raisonnable de la tension d'alimentation provoque une diminution de la vitesse de rotation puisque le moteur a alors moins de capacité à entraîner la machine.

Variation de la vitesse par réduction de la tension.



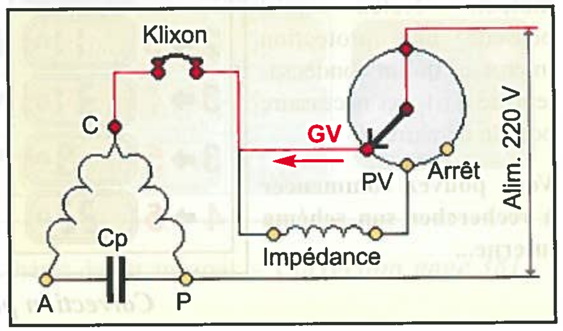
La réduction de la tension d'alimentation peut se rencontrer sur des moteurs multi-vitesses monophasés entraînant les ventilateurs de petits climatiseurs individuels un peu anciens.

En position **PV** (**P**etite **V**itesse) une impédance (en quelque sorte, c'est une résistance) est câblée en série avec le moteur. La chute de tension aux bornes de cette impédance provoque une réduction de la tension aux bornes du moteur.

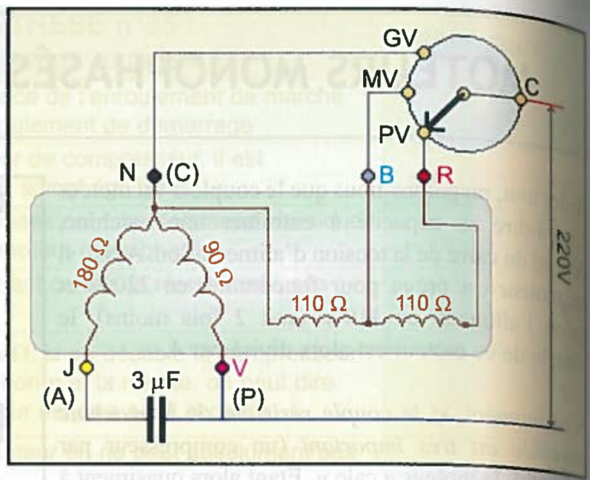
Le couple moteur étant réduit, le ventilateur tourne moins vite (schéma ci-dessus).

En position **GV** (**G**rande **V**itesse), l'impédance est court-circuitée et le moteur est alimenté avec sa tension nominale de 220 V (schéma ci-contre).

Il tourne alors à sa vitesse normale.



Nous avons représenté ci-contre le moteur monophasé 220 V qui entraîne le ventilateur d'un climatiseur. Le commutateur possède 4 bornes (C, PV, MV, GV) permettant la sélection de la vitesse du ventilateur (**P**etite, **M**oyenne ou **G**rande **V**itesse).



Notez que nous avons indiqué la valeur des résistances mesurées entre les 5 fils de couleur qui sortent du moteur (Noir, **J**aune, **V**iolet, **B**leu et **R**ouge dans cet exemple).

Comme précédemment, la plus faible vitesse **PV** s'obtient en alimentant le moteur avec la plus faible tension (sur le fil Rouge, ce qui met les 2 impédances de 110 Ω en série avec le commun du moteur). La grande vitesse GV s'obtient en alimentant le moteur directement sur la tension du réseau, c'est-à-dire sur le fil Noir, les 2 impédances étant alors éliminées.

EXERCICE 1

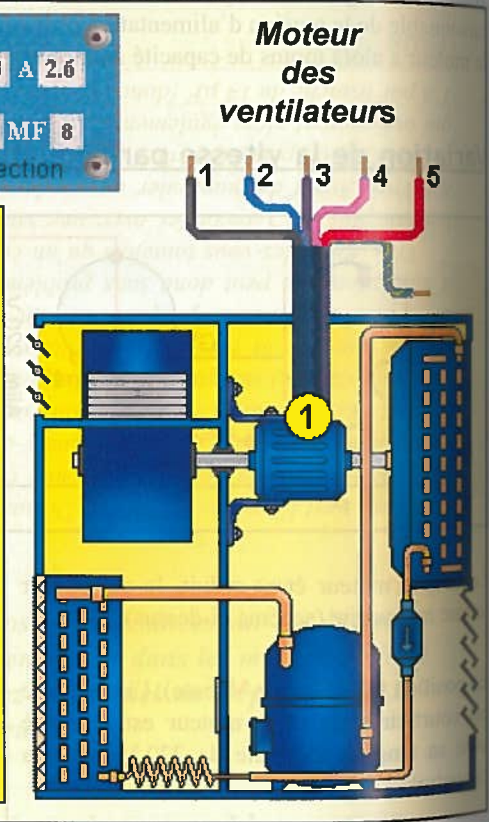
Afin de mettre en application nos connaissances sur les appareils monophasés, nous allons essayer de câbler le petit climatiseur Window ci-contre.

Un câble sort du moteur des ventilateurs (repère 1) avec 5 fils (plus la terre). Vous 'sonnez' ces 5 fils à l'ohmmètre et vous trouvez les résistances indiquées ci-contre.

Pour vous aider, nous avons également reproduit la plaque signalétique du moteur. Notez qu'il possède une protection interne et qu'un condensateur de 8 µF est nécessaire pour le démarrer.

Vous pouvez commencer à rechercher son schéma interne...





Fils	Résistance
1 → 2	29 Ω
1 → 3	27 Ω
1 → 4	40 Ω
1 → 5	18 Ω
2 → 3	20 Ω
2 → 4	11 Ω
2 → 5	11 Ω
3 → 4	31 Ω
3 → 5	9 Ω
4 → 5	22 Ω

Correction page 380

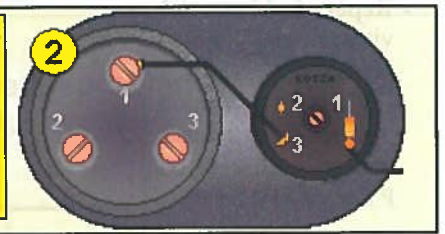
EXERCICE 2

Examinons maintenant la plaque signalétique du compresseur, son bornier (repère **2**) avec le klixon et le résultat des mesures effectuées entre les 3 bornes du moteur décâblé.

Moteur du compresseur

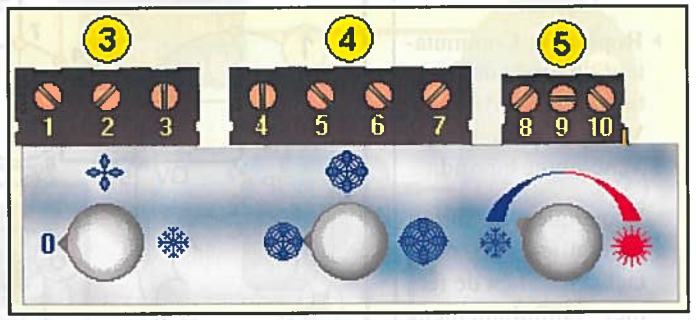


Bornes	Résistance
1-2	9 Ω
1-3	3 Ω
2-3	12 Ω



Voici également le panneau de commande du climatiseur :

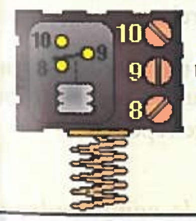
- **Repères 3 :** c'est le commutateur Arrêt / Ventilation seule / Ventilation + Froid. Son bornier électrique possède 3 bornes numérotées de 1 à 3. Pour chacune des 3 positions du commutateur, vous trouverez ci-dessous le résultat des mesures effectuées à l'ohmmètre.

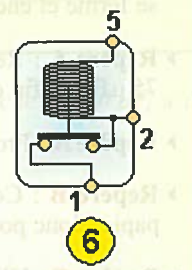


- **Repères 4 :** c'est le commutateur permettant de choisir la vitesse de ventilation PV / MV / GV. Son bornier possède 4 bornes numérotées 4 à 7. De même, vous trouverez ci-dessous le résultat des mesures à l'ohmmètre.
- **Repères 5 :** c'est le thermostat de régulation du compresseur. Le schéma gravé sur son corps devrait vous permettre de déterminer son câblage.
- **Repère 6 :** En cas de besoin, nous vous rappelons le schéma interne du relais de tension.

3	0		
1 → 2	1. Ω	0.0 Ω	0.0 Ω
1 → 3	1. Ω	1. Ω	0.0 Ω
2 → 3	1. Ω	1. Ω	0.0 Ω

4			
4 → 5	1. Ω	1. Ω	1. Ω
4 → 6	1. Ω	1. Ω	1. Ω
4 → 7	0.0 Ω	1. Ω	1. Ω
5 → 6	1. Ω	1. Ω	1. Ω
5 → 7	1. Ω	0.0 Ω	1. Ω
6 → 7	1. Ω	1. Ω	0.0 Ω



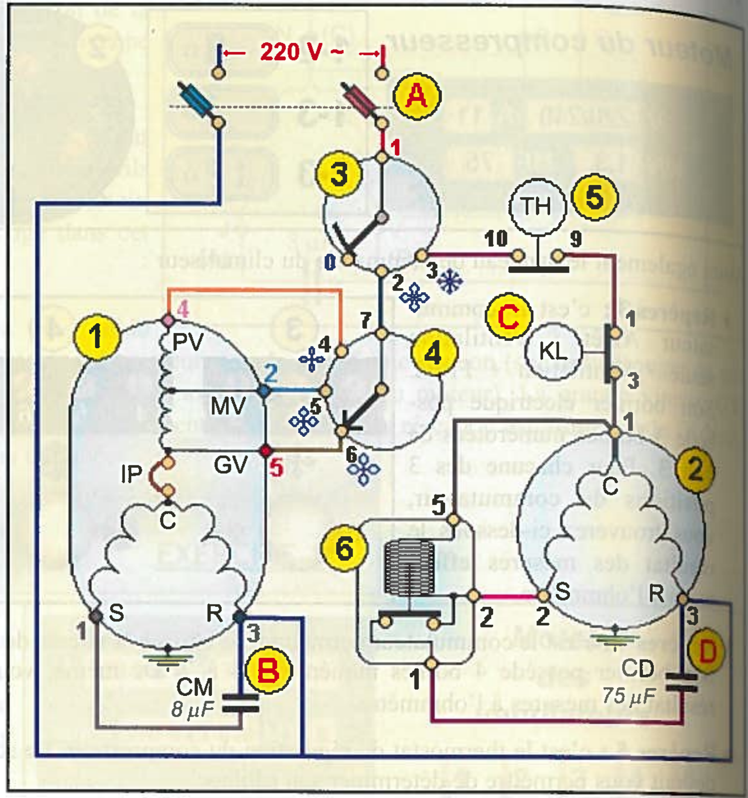




Maintenant à vous de jouer : recherchez le schéma de cet appareil - *Correction page 381.*

Correction de l'exercice :

Vous pouvez consulter ci-dessous le schéma de principe de notre climatiseur Window monophasé.

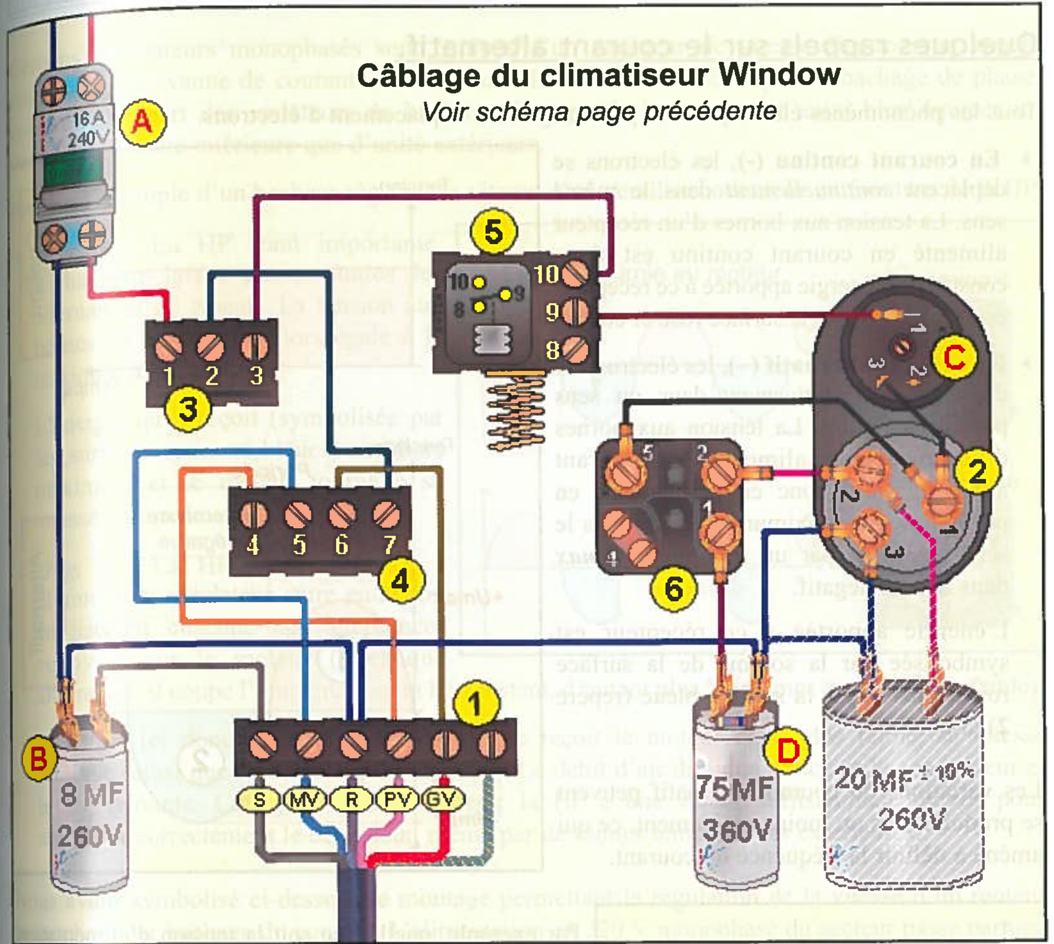


- **Repère 1** : Moteur à 3 vitesse des ventilateurs (PV / MV / GV) avec protection interne (IP) et 2 impédances utilisées en PV et en MV
- **Repère 2** : Moteur du compresseur.
- **Repère 3** : Commutateur du mode de fonctionnement : Arrêt ou Ventilation seule ou Ventilation + Froid.

  Remarquez la forme particulière du contact permettant de fermer simultanément les bornes 1 + 2 + 3 en mode Froid.
- **Repère 4** : commutateur permettant de choisir la vitesse de ventilation PV ou MV ou GV.
- **Repère 5** : Thermostat de régulation du compresseur câblé entre 9 et 10 afin que son contact se ferme et enclenche le compresseur par montée de température dans le local climatisé.
- **Repère 6** : Relais de tension indispensable pour éliminer le condensateur électrolytique de 75 µF à la fin du démarrage du compresseur.
- **Repère A** : Protection électrique (fusibles ou disjoncteur).
- **Repère B** : Condensateur de Marche (CM) du moteur des ventilateurs. C'est un modèle au papier donc pouvant sans danger rester en permanence sous tension.
- **Repère C** : Klixon protégeant le compresseur d'une éventuelle surcharge.
- **Repère D** : Condensateur de Démarrage (CD) du moteur du compresseur. Son importante capacité de 75 µF indique que c'est un modèle électrolytique ne pouvant pas rester sous tension plus de 5 secondes, ce qui implique l'utilisation du relais de démarrage repère **6**.

Exercez vous à lire ce schéma et à parfaitement le comprendre, ce qui est encore possible puisqu'il n'y a pas d'électronique.

A titre informatif, nous avons représenté ci-dessous le câblage de l'appareil. Vous pourrez ainsi vous entraîner à passer d'un schéma dessiné sur le papier à une réalisation plus concrète.



Nous avons rajouté sur le bornier du compresseur un condensateur de marche de 20 µF, s'il s'avérait nécessaire d'améliorer le couple du moteur en fonctionnement.

Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

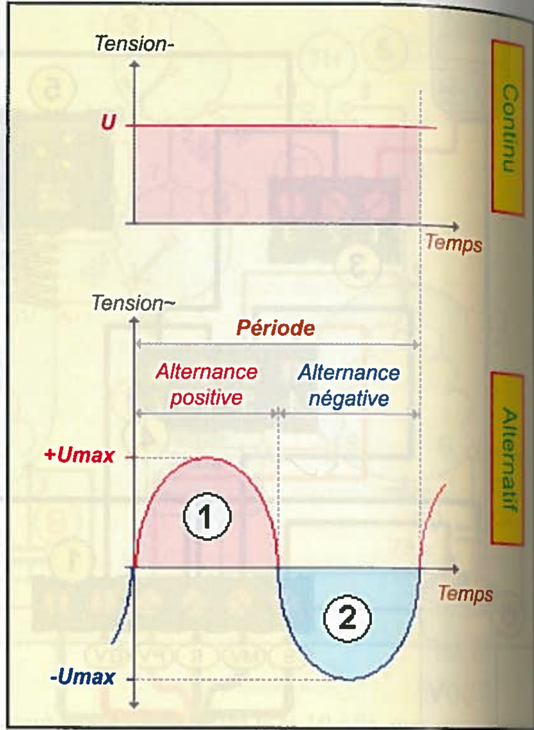
VARIATION DE LA VITESSE DES MOTEURS

Quelques rappels sur le courant alternatif.

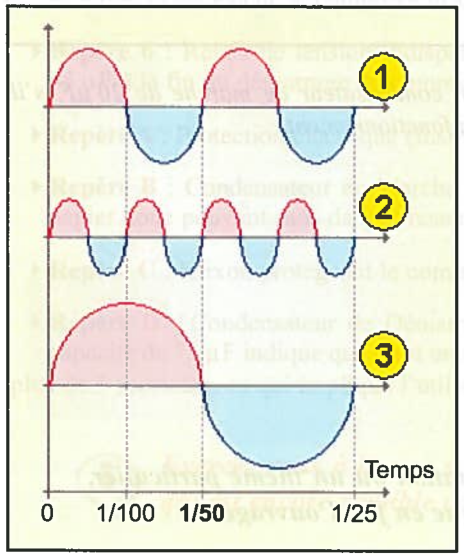
Tous les phénomènes électriques ont pour origine un déplacement d'électrons.

- **En courant continu (-)**, les électrons se déplacent *continuellement* dans le même sens. La tension aux bornes d'un récepteur alimenté en courant continu est donc constante. L'énergie apportée à ce récepteur est symbolisée par la surface rose ci-contre.
- **En courant alternatif (~)**, les électrons se déplacent *alternativement* dans un sens puis dans l'autre. La tension aux bornes d'un récepteur alimenté en courant alternatif varie donc en permanence en passant par un maximum ***+Umax*** dans le sens positif et par un minimum ***-Umax*** dans le sens négatif.

  L'énergie apportée à ce récepteur est symbolisée par la somme de la surface rose (repère **1**) + la surface bleue (repère **2**) ci-contre.



Les variations du courant alternatif peuvent se produire plus ou moins rapidement, ce qui amène à définir la fréquence du courant.



Par exemple, quelle que soit la tension d'alimentation, EDF fourni un courant ~ dont la fréquence est de 50 Hertz (Hz). Cela signifie qu'il y a 50 périodes par seconde, une période représentant le temps nécessaire pour faire passer une alternance positive et une alternance négative. Cela signifie également qu'il suffit de 1/50ème de seconde pour passer les 2 alternances.

Examinons le schéma ci-contre :

- **En 1**, la période se produit en **1/50** de seconde. La fréquence du courant est donc de 50 périodes par seconde, soit 50 Hz.
- **En 2**, la période se produit en 1/100 de seconde. La fréquence du courant est donc de 100 Hz.
- **En 3**, la période se produit en 1/25 de seconde. La fréquence du courant est donc de 25 Hz.

Nous reparlerons de la fréquence du courant *page 389* à propos des systèmes 'Inverter'.

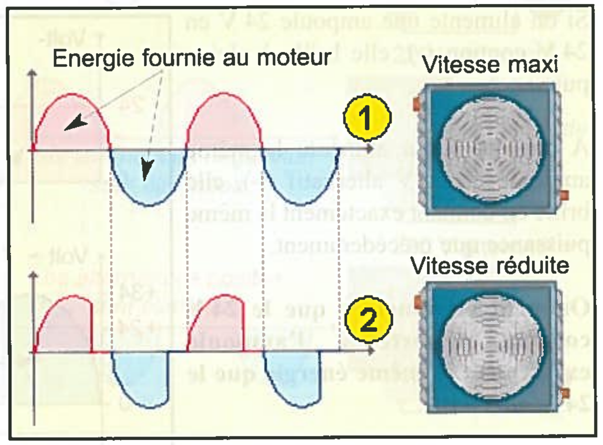
Variation de vitesse par hachage du courant.

Certains ventilateurs monophasés sont équipés d'un variateur de vitesse électronique appelé communément 'vanne de courant' ou 'hacheur'. Ils utilisent la technique du hachage de phase, comme la plupart des variateurs de lumière. Ce type de hacheur peut aussi bien équiper un ventilateur d'unité intérieure que d'unité extérieure.

Prenons l'exemple d'un hacheur régulant la vitesse d'un ventilo-condenseur en fonction de la HP.

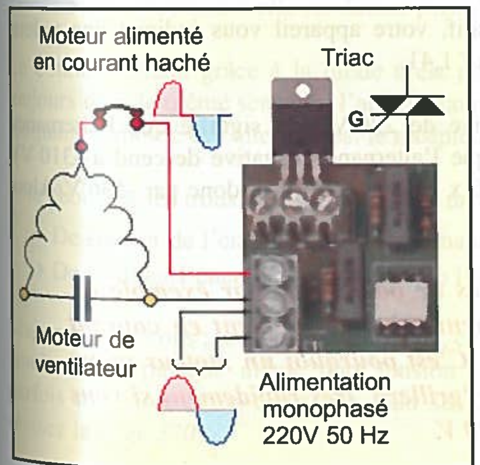
- ***Fig. 1*** : La HP étant importante, le hacheur laisse passer toutes les alternances du réseau. La tension aux bornes du moteur est alors égale à la tension d'alimentation.

  L'énergie qu'il reçoit (symbolisée par les surfaces roses et bleues) est alors maximum et le moteur tourne à sa vitesse nominale.
- ***Fig. 2*** : La HP ayant tendance à diminuer, le régulateur entre en action en hachant chacune des alternances envoyées sur le moteur (à chaque alternance, il coupe l'alimentation un bref instant, d'autant plus longtemps que la HP est faible).



L'énergie (et donc la tension moyenne) que reçoit le moteur étant plus faible, sa vitesse diminue (ainsi que l'intensité qu'il absorbe). Le débit d'air diminue donc sur le condenseur et la HP remonte. Cela permet de maintenir la HP à une valeur suffisamment élevée pour alimenter correctement le détendeur, même par de faibles températures extérieures.

Nous avons symbolisé ci-dessous le montage permettant la régulation de la vitesse d'un moteur monophasé par hachage du courant. L'alimentation en 220 V monophasé du secteur passe par une platine électronique qui se charge de hacher le courant.



Remarquez qu'en 50 Hz (c'est-à-dire 50 périodes par seconde), il y a 50 alternances positives + 50 alternances négatives par seconde.

C'est dire que le hacheur doit être capable de couper 100 alternances par seconde !

Bien sûr, une telle vitesse serait impossible à obtenir en utilisant un contacteur traditionnel. Les fabricants utilisent donc un composant électronique spécialisé appelé 'Triac' et représenté ci-contre. L'électrode repérée **G** (comme **G**âchette) est commandée par la platine électronique afin d'autoriser ou non le passage de la phase vers le moteur.

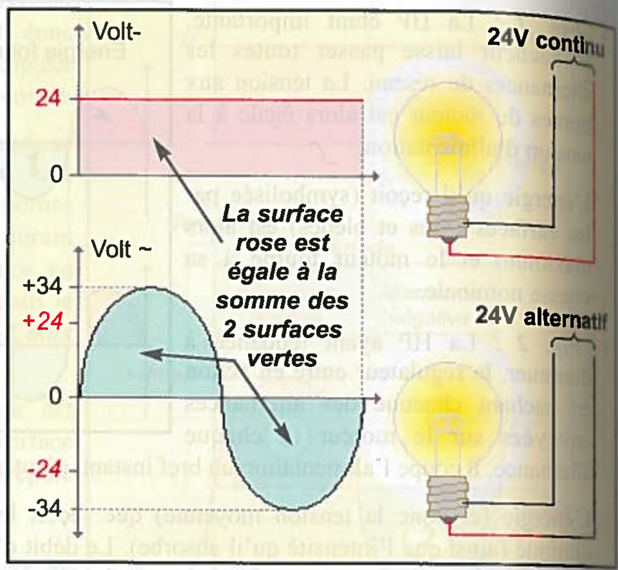
A noter : Cette technique de hachage de phase ne peut être utilisée que sur des résistances de chauffage ou sur des moteurs monophasés entraînant des machines à faible couple résistant (tel qu'un ventilateur hélicoïde ou tangentiel).

S'il s'agit d'un moteur triphasé ou d'une machine à fort couple résistant (comme un compresseur frigorifique), il faudra utiliser d'autres techniques que nous allons aborder après quelques rappels qui nous permettrons de mieux comprendre la suite.

Quelques notions d'électronique.

Si on alimente une ampoule 24 V en 24 V continu (-), elle brille à pleine puissance.

A présent, si on alimente la même ampoule en 24 V alternatif (~), elle brille en donnant exactement la même puissance que précédemment.



On peut en conclure que le 24 V continu apporte à l'ampoule exactement la même énergie que le 24 V alternatif.

Pourtant, si on examine l'aspect du courant alternatif 24 V à l'aide d'un oscilloscope, on constate que l'alternance positive monte jusqu'à un maximum d'environ +34 V tandis que l'alternance négative descend à -34 V.

La tension variant continuellement entre +34 V et -34 V (en passant par 0 V), quelle valeur un voltmètre alternatif doit-il indiquer ? On a donc choisi d'étalonner tous les voltmètres alternatifs afin que la tension lue soit équivalente à la tension continue qui transporterait exactement la même énergie (comme ci-dessus).

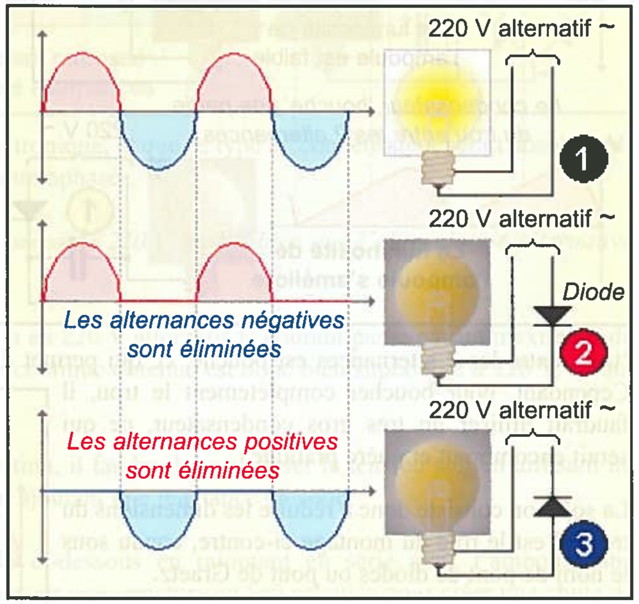
C'est pourquoi lorsque vous lisez 24 V en alternatif, votre appareil vous indique une valeur appelée la **tension efficace** qui correspond à +Umax / 1,41.

Ainsi, lorsque vous mesurez une tension alternative de 220 V cela signifie que l'alternance positive monte à 220 x 1,41 = +310 V (et donc que l'alternance négative descend à -310 V). De même, en 380 V les alternances passent par 380 x 1,41 = +536 V et donc par -536 V. Alors attention où vous posez les doigts !

Attention : les appareils constitués de bobinages, par exemple un moteur, ne peuvent pas être alimentés indifféremment en courant continu ou en courant alternatif. C'est pourquoi un moteur prévu pour du courant alternatif 220 V 'grillera' très rapidement si vous l'alimentez en courant continu 220 V.

Certains matériels que nous utiliserons fonctionnent avec du courant continu. Attendu qu'il serait peu pratique (et très coûteux) d'alimenter un moteur de ventilateur avec des piles, il faut utiliser des dispositifs permettant de transformer le courant alternatif disponible en courant continu !

On utilise alors un composant électronique : la **diode**. Examinons son fonctionnement :



- **En 1**, alimentée en 220 V alternatif, l'ampoule reçoit une énergie égale à la somme des surfaces roses et bleues.

Comme c'est une ampoule 220 V alimentée en 220 V, elle brille tout à fait normalement en donnant sa pleine puissance.

- **En 2**, on a inséré une diode sur l'alimentation alternative. On constate alors que l'ampoule brille beaucoup plus faiblement.

Un examen à l'oscilloscope nous montre que toutes les alternances négatives sont à présent éliminées.

L'ampoule ne recevant plus que la moitié de l'énergie dont elle a besoin pour donner sa pleine puissance, elle brille beaucoup moins.

- **En 3**, on a retourné la diode. L'ampoule brille toujours plus faiblement, exactement comme dans l'expérience précédente.

Mais cette fois-ci, l'oscilloscope nous montre que ce sont toutes les alternances positives qui sont éliminées.

On peut en conclure qu'une diode se comporte comme un clapet de retenue : elle ne laisse passer le courant que dans un seul sens.

Le courant obtenu grâce à la diode n'est plus du courant alternatif puisque les électrons vont toujours dans le même sens : on l'appelle courant redressé simple alternance. Cependant, la diode bloquant la moitié des alternances, le récepteur est sous-alimenté en énergie.

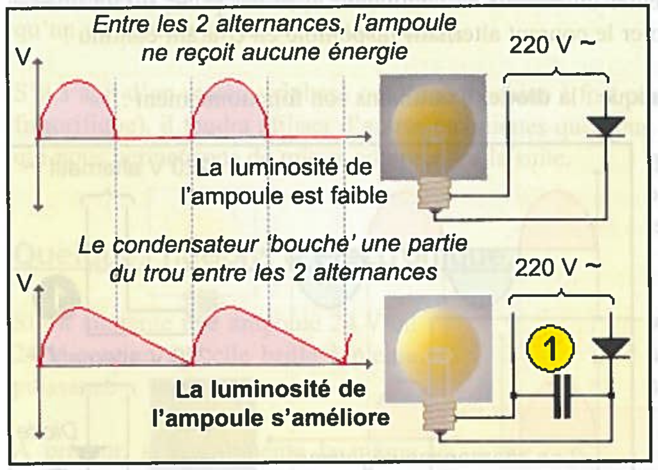


Pour 'boucher les trous' il faudrait utiliser un composant capable :

- De stocker de l'énergie quand l'alternance monte.
- De restituer l'énergie stockée lorsque l'alternance redescend.

Mais rappelez-vous : le stockage d'énergie, c'est précisément ce que fait le condensateur puisque même hors tension on peut créer une étincelle parfois très violente en court-circuitant ses 2 bornes (en cas de besoin, révisez la *page 370*).

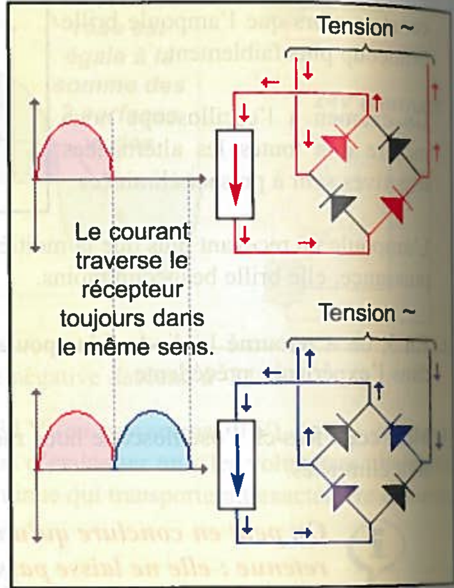
Ainsi, si nous rajoutons un condensateur (repère **1** ci-dessous), il va accumuler de l'énergie pendant toute la phase montante de l'alternance.



Quand celle-ci aura pour valeur Umax, la tension aux bornes du condensateur sera également égale à Umax. Quand l'alternance va amorcer sa course de descente, la tension va simultanément diminuer.

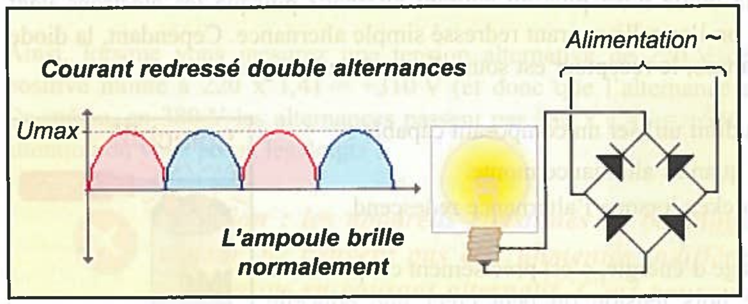
Le condensateur étant chargé avec Umax, il va se décharger en freinant la course de descente de l'alternance d'autant mieux que sa capacité sera importante. C'est pourquoi, sur le schéma ci-dessus, une partie du 'trou' entre les 2 alternances est bouché, ce qui permet d'améliorer la luminosité de l'ampoule. Cependant, pour boucher complètement le trou, il faudrait utiliser un très gros condensateur, ce qui serait encombrant et guère pratique.

La solution consiste donc à réduire les dimensions du trou. C'est le rôle du montage ci-contre, connu sous le nom de pont de diodes ou pont de Graetz.



- **Pendant l'alternance positive,** le courant franchit le pont de diodes en suivant le chemin indiqué en rouge. *Notez qu'il traverse le récepteur (par exemple une résistance) de haut en bas*
- **Pendant l'alternance négative,** le courant change de sens. Il franchit alors le pont en suivant le chemin indiqué en bleu *en traversant le récepteur également de haut en bas.*

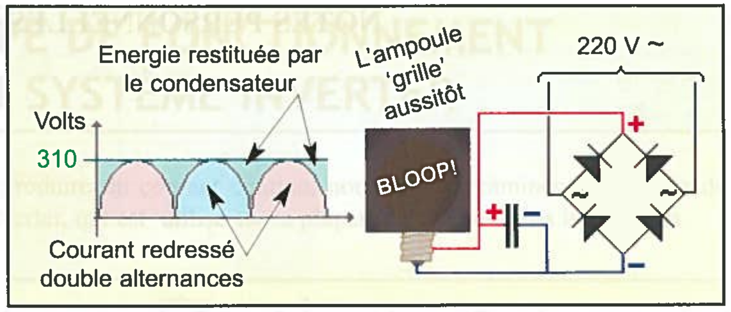
Ce montage permet donc de transformer l'alternance négative en alternance positive !



A présent, si nous installons un pont de diodes sur l'alimentation de notre ampoule, elle brille à nouveau tout à fait normalement puisqu'elle reçoit alors intégralement l'énergie transportée par chacune des alternances.

Notez qu'un courant de ce type n'est plus alternatif puisque les électrons vont toujours dans le même sens. *On l'appelle courant redressé double alternances.*

A ce moment, si nous rajoutons un condensateur pour 'boucher les trous' entre les alternances comme nous l'avons fait page précédente, on obtient du courant continu de qualité satisfaisante.



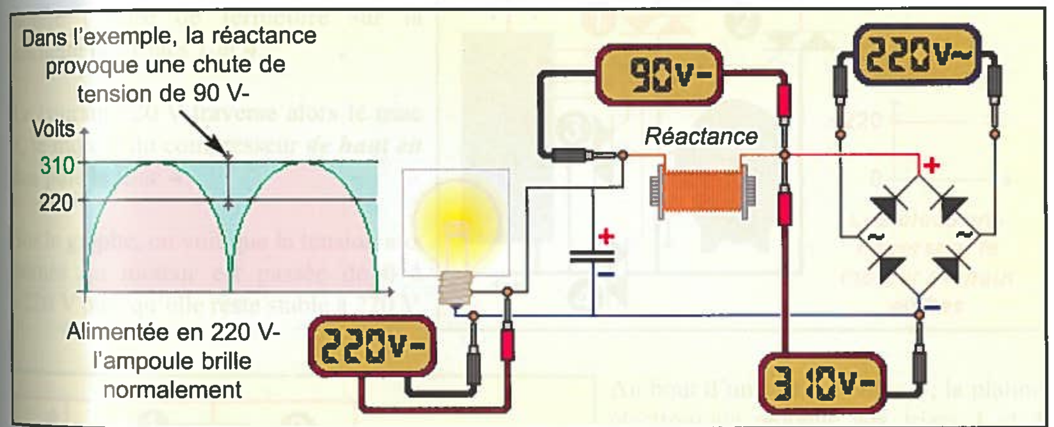
Notez qu'on utilise un condensateur polarisé de type chimique, destiné exclusivement à l'électronique, et que ce type de condensateur serait absolument inutilisable pour démarrer les moteurs monophasés.

Cependant, dès la mise sous tension, l'ampoule 220 V 'grille' bien que l'alimentation alternative soit en 220 V ! Que s'est-il passé ?

Rappelez-vous qu'avec une alimentation en 220 V alternatif le courant passe par un maximum de 240 x 1,41 = environ 310 V. La tension continue obtenue est donc bien supérieure à 220 V, ce qui explique le 'grillage' de l'ampoule.

Si on a besoin de 220 V en courant continu, il faudra donc abaisser la tension soit en utilisant un montage électronique spécialisé, soit en ajoutant une réactance en série.

C'est ce qu'on a fait dans l'exemple ci-dessous en rajoutant en série avec l'ampoule une réactance inductive (une bobine enroulée sur une armature en fer) calculée pour créer une chute de tension de 90 V, ce qui permet d'alimenter l'ampoule avec une tension continue de 220 V-.



Vous vous doutez bien qu'on ne réalise pas un tel montage pour alimenter une ampoule !

Ces préambules étant faits, nous allons à présent pouvoir examiner le principe de fonctionnement du système Inverter, utilisé sur la plupart des climatiseurs individuels.

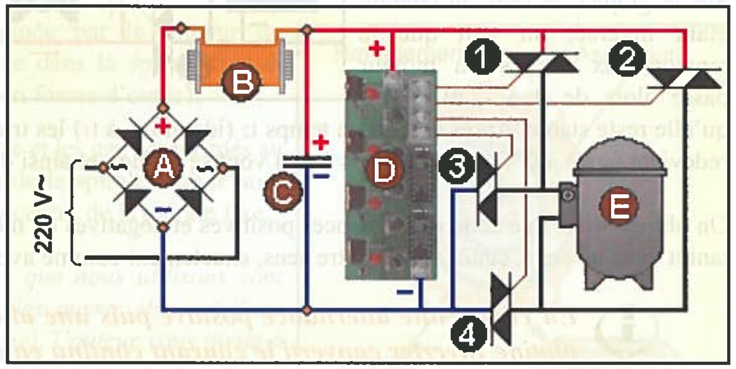
Si vous souhaitez approfondir vos connaissances en électronique, savoir comment fonctionnent et comment régler les régulateurs analogiques et numériques, consultez le Manuel du Dépanneur 6e édition, 1387 pages en couleurs (la suite de ce manuel, du même auteur).

NOTES PERSONNELLES

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME INVERTER

Maintenant que nous savons produire du courant continu, nous allons examiner le principe de fonctionnement du système Inverter, qui est utilisé sur la plupart des climatiseurs individuels.

L'alimentation 220 V~ arrive sur le pont de diode (repère A). A la sortie du pont, la tension du courant redressé double alternances est alors d'environ 220 x 1,41 = 310 V.

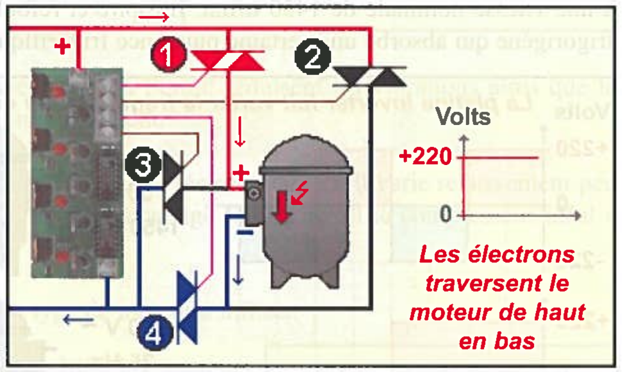


La réactance inductive (repère **B**) permet de 'lisser' la tension à environ 220 V.

Le condensateur polarisé de filtrage (repère **C**) 'bouche les trous' afin d'obtenir une tension quasi-continue de 220 V.

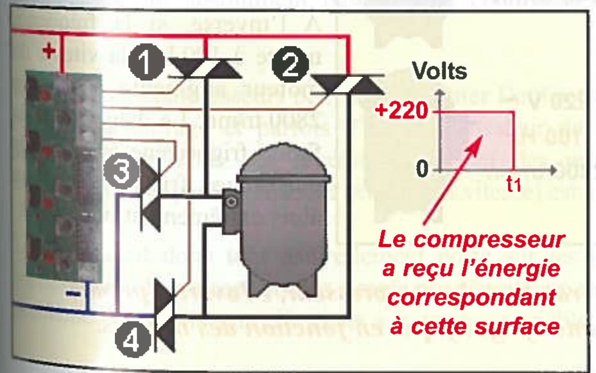
La platine électronique (repère **D**) commande les 4 triacs (repère **1** à **4**) qui vont permettre d'alimenter le moteur du compresseur (repère **E**). Tels qu'ils sont représentés ci-dessus, les 4 triacs sont bloqués ouverts et la tension aux bornes du compresseur est donc de 0 V.

A ce moment, la platine électronique donne l'ordre de fermeture sur la gâchette des triacs 1 et 4.



Le courant 220 V traverse alors le triac 1, le moteur du compresseur ***de haut en bas*** puis le triac 4.

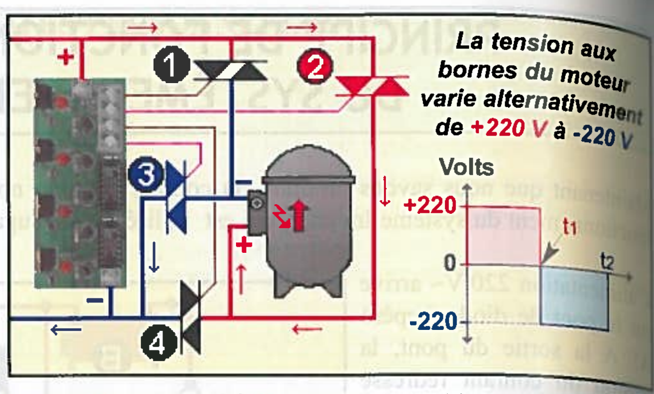
Sur le graphe, on voit que la tension aux bornes du moteur est passée de 0 à +220 V puis qu'elle reste stable à 220 V.



Au bout d'un certain temps t_1, la platine électronique redonne aux triacs **1** et **4** l'ordre de se bloquer.

La tension qui était de +220 V aux bornes du compresseur redevient alors aussitôt égale à 0 V.

Le graphe nous montre que le compresseur a reçu l'énergie correspondant à la surface colorée en rose.



La platine électronique donne alors aux triacs 2 et 3 l'ordre de se fermer. Le courant 220 V traverse donc aussitôt le triac 2, le moteur du compresseur ***de bas en haut (c'est-à-dire à l'inverse du sens précédent)*** puis le triac 3.

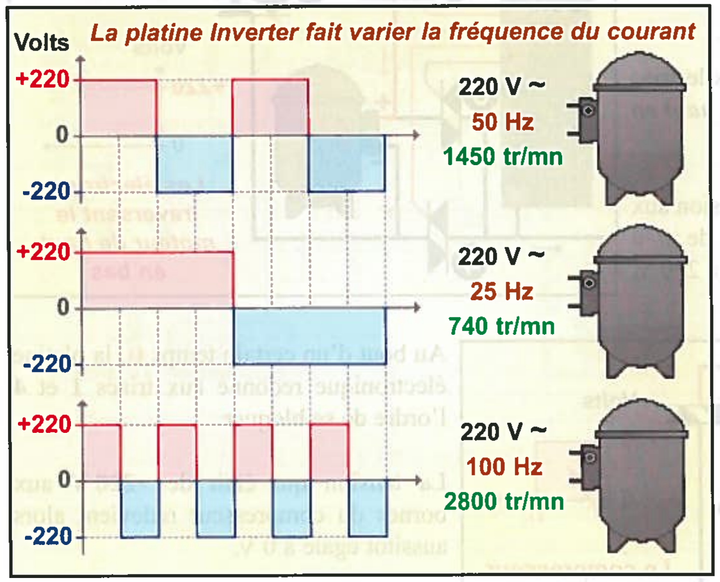
Sur le graphe, le sens du courant étant inversé, on voit que la tension aux bornes du moteur passe alors de 0 à -220 V puis qu'elle reste stable. Après un certain temps t2 (identique à t1) les triacs de rebloquent et la tension redevient égale à 0 V. Puis les triacs 1 et 4 vont se fermer, et ainsi de suite...

On obtient donc une suite d'alternances positives et négatives de même durée, les électrons allant tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre sens, exactement comme avec du courant alternatif.

En créant une alternance positive puis une alternance négative, la platine Inverter converti le courant continu en courant alternatif.

Mais alors, quel est l'intérêt de prendre un courant alternatif, de le transformer en courant continu pour le retransformer ensuite en courant alternatif ? **L'énorme intérêt du système vient du fait que la vitesse d'un moteur alternatif dépend de la fréquence du courant d'alimentation.**

En effet, alimenté en 220 V~ sous une fréquence de 50 Hz, imaginons qu'un compresseur tourne à une vitesse nominale de 1450 tr/mn. Il aspire et refoule alors un certain débit masse de fluide frigorigène qui absorbe une certaine puissance frigorifique en se vaporisant dans l'évaporateur.



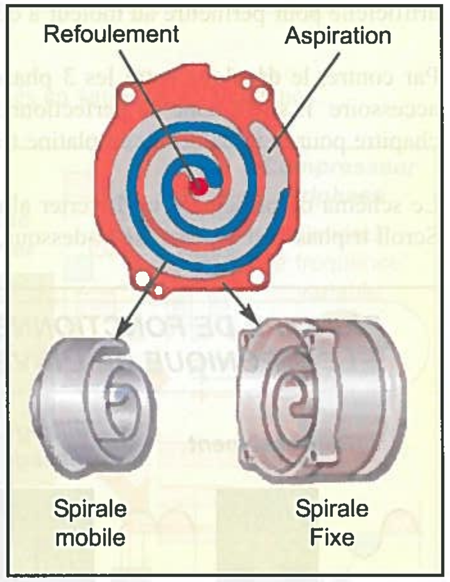
Si on l'alimente toujours en 220 V~ mais en réduisant la fréquence à 25 Hz, sa vitesse chute à environ 740 tr/mn (de l'ordre de 2 fois moins). Le débit masse de fluide frigorigène et donc la puissance frigorifique sont alors réduits dans les mêmes proportions.

A l'inverse, si la fréquence monte à 100 Hz, la vitesse du moteur augmente à environ 2800 tr/mn. Le débit masse de fluide frigorigène ainsi que la puissance frigorifique sont alors extrêmement importants.

En régulant la vitesse de rotation du compresseur, l'Inverter permet donc de réguler la puissance frigorifique en fonction des besoins.

Le système Inverter procure de nombreux avantages en faisant varier la fréquence d'alimentation du compresseur, donc sa vitesse de rotation et sa puissance frigorifique. Cependant le choix du compresseur pose un problème.

En effet, les compresseurs à pistons ne se prêtent guère à une importante variation de vitesse (entre la plus petite et la plus grande vitesse, le rapport avec un Inverter est parfois de 1 à 4) et les constructeurs préfèrent utiliser une autre technologie : le compresseur spiro-orbital 'Scroll' qui présente de nombreux avantages.



La spirale mobile est entraînée par le moteur du compresseur. Elle est emboîtée dans la spirale fixe et décrit un mouvement orbital (en forme d'ovale).

L'aspiration se fait en périphérie et les gaz comprimés au fur et à mesure de la rotation de la spirale mobile sont refoulés dans l'orifice situé au centre de la spirale fixe.

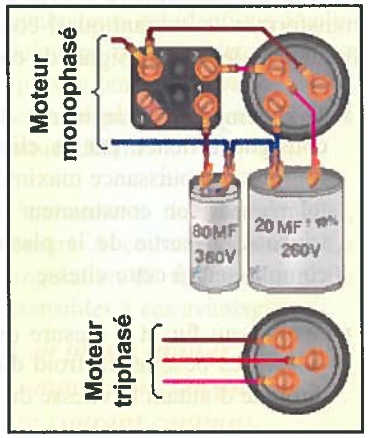
Attendu que les compresseurs que nous utilisons sont hermétiques (on ne peut pas les ouvrir, ils sont donc irréparables en cas de problème), l'auteur vous invite à consulter les nombreuses documentations des divers constructeurs si vous êtes passionné par l'aspect mécanique de ces compresseurs.

Par rapport au compresseur à pistons, le succès du compresseur Scroll est en particulier dû à l'absence de clapet d'aspiration et de refoulement ainsi qu'à la diminution du nombre de pièces en mouvement.

Ces 2 critères augmentent la fiabilité mécanique du Scroll, réduisent les vibrations ainsi que le niveau sonore si important en climatisation individuelle.

De plus, à l'inverse du compresseur à pistons, le couple résistant du Scroll varie relativement peu pendant la compression des gaz aspirés. Cet autre avantage fait du scroll le compresseur idéal à utiliser avec un système Inverter.

Cependant, un autre problème se pose : le type de moteur à utiliser.

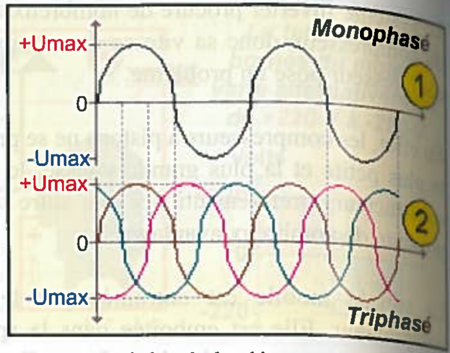


En effet, comme nous l'avons vu *page 368*, les moteurs monophasés ont absolument besoin d'un condensateur pour démarrer.

Les plus gros compresseurs peuvent nécessiter l'utilisation d'un relais de démarrage et parfois d'un condensateur de marche supplémentaire. Tous ces accessoires posent des problèmes fonctionnels lorsque la fréquence (et donc la vitesse) est variable.

Le choix s'est donc tout naturellement porté sur les moteurs triphasés dont la conception très simple pose beaucoup moins de problèmes lorsqu'ils sont alimentés à fréquence variable.

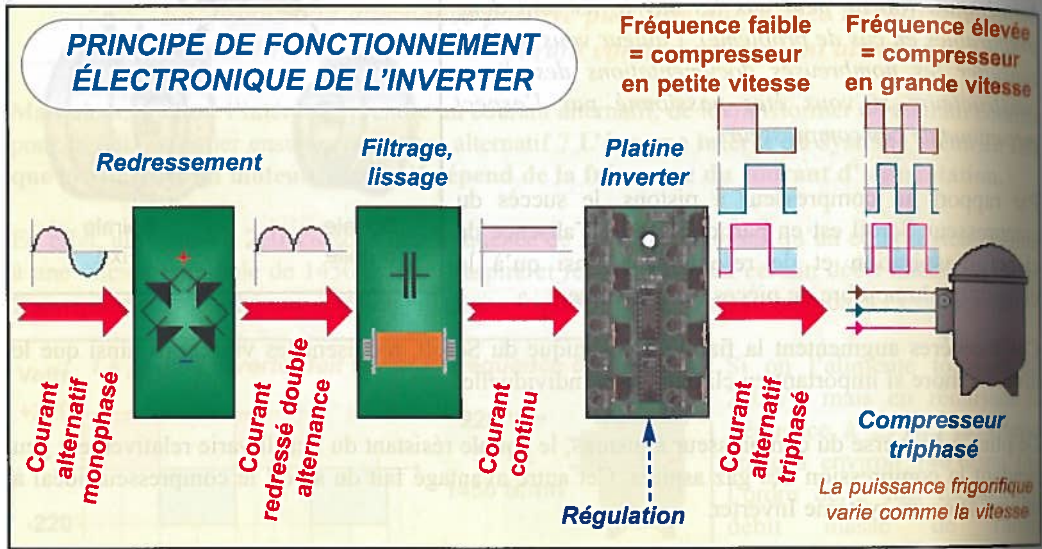
Vous pouvez comparer ci-contre l'aspect du courant monophasé avec celui du triphasé. Sans entrer dans la grosse théorie, vous pouvez considérer que le courant triphasé correspond en fait à 3 phases monophasées ayant exactement la même fréquence, chaque phase étant décalée très précisément des 2 autres, ainsi que vous pouvez le voir sur la courbe ci-contre.



En monophasé, le condensateur sert à créer une phase artificielle pour permettre au moteur à démarrer.

Par contre, le décalage entre les 3 phases permet à un moteur triphasé de démarrer sans aucun accessoire. Il suffit donc de perfectionner la platine Inverter monophasée décrite au début de ce chapitre pour la transformer en platine triphasée.

Le schéma de principe d'un Inverter alimenté en monophasé mais commandant un compresseur Scroll triphasé est schématisé ci-dessous.



Le courant monophasé 50 Hz est redressé en double alternance puis filtré et lissé afin de le transformer en courant quasi-continu. Ensuite, la platine Inverter crée 3 phases distinctes dont la fréquence dépend du signal de commande donné par la régulation.

- Si la température ambiante dans le local climatisé est très éloignée de la température de consigne affichée par le client sur sa télécommande, il est nécessaire que le climatiseur fournisse sa puissance maximum. Il faut donc que le compresseur tourne à la vitesse maximale tolérée par son constructeur (à cause des contraintes mécaniques). La fréquence du courant triphasé en sortie de la platine Inverter est alors précisément ajustée pour faire tourner le compresseur à cette vitesse.

- Ensuite, au fur et à mesure que la température ambiante se rapproche du point de consigne désiré, les besoins en froid diminuent. La platine réduit alors la fréquence du courant ce qui diminue d'autant la vitesse du compresseur et donc sa puissance frigorifique.

Bien sûr, non seulement la platine électronique régule la vitesse du compresseur, mais en plus elle commande le ventilateur de l'évaporateur et celui du condenseur.

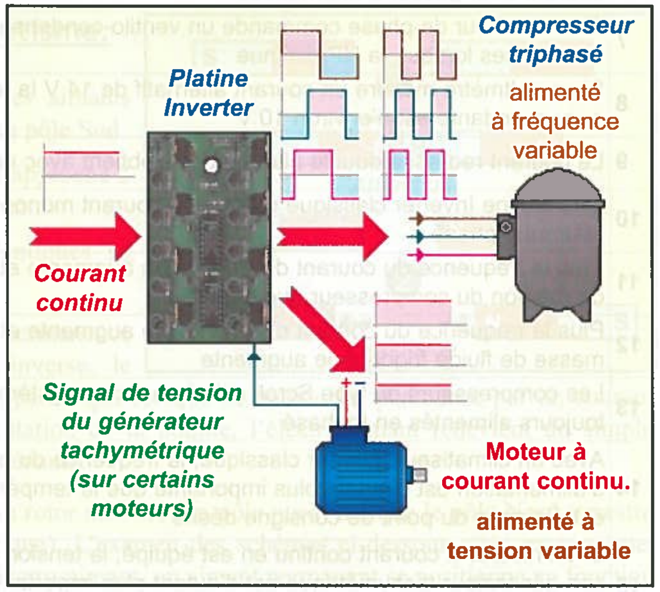
Selon les fabricants, le modèle de l'appareil et sa puissance, on peut rencontrer différentes méthodes pour faire varier la vitesse des ventilateurs :

- Nous avons déjà parlé des moteurs monophasés multi-vitesses *page 377* qui sont plutôt utilisés avec les ventilateurs tangentiels des unités intérieures.
- La régulation de vitesse par hachage de phase vue *page 383* se rencontre davantage avec les ventilateurs hélicoïdes des unités extérieures.
- Certains gros ventilateurs peuvent être triphasés et régulés en variation de fréquence.
- Cependant, on rencontre de plus en plus de moteurs à courant continu.

Avec cette technique, la platine alimente le ventilateur avec une tension continue variable.

Plus la tension est faible et moins le moteur tourne vite, ce qui lui permet de fonctionner avec une plage de vitesse bien plus importante que celle des moteurs multi-vitesses ou des moteurs régulés par hachage de phase.

De plus, l'électronique qui commande le moteur est alors beaucoup moins sophistiquée.





Certains des moteurs utilisés possèdent en interne un petit générateur tachymétrique qui renvoie à la platine une tension dépendant de la vitesse de rotation du moteur.

Le principe de fonctionnement de ces générateurs est identique à celui des dynamos utilisées pour assurer l'éclairage des bicyclettes (photo ci-contre). Plus le moteur tourne vite, plus la tension renvoyée par le générateur est importante. Cela permet à la platine de contrôler la vitesse du moteur et de détecter un éventuel défaut.

L'évolution technologique, en particulier l'utilisation d'aimants permanents de haute qualité, améliore très sensiblement le rendement énergétique des moteurs à courant continu. La suppression du variateur de fréquence triphasé au profit d'une régulation de tension simplifie énormément l'électronique. Les constructeurs ne sont pas restés insensibles à ces avantages.

C'est pourquoi la tendance actuelle est de plus en plus à utiliser des moteurs à courant continu, y compris pour le compresseur. On parle alors d'Inverter DC (Direct Current, c'est à dire courant continu).

EXERCICE DE SYNTHÈSE n°26 : Ces affirmations sont-elles exactes ?

		VRAI	FAUX
1	La plaque signalétique d'un moteur indique 110 V~. Si on alimente ce moteur en 220 V~ son couple est multiplié par 4		
2	Pour diminuer la vitesse d'un ventilateur tangentiel on peut raccorder une impédance en parallèle sur le moteur		
3	Pour câbler un moteur monophasé à 3 vitesses, 5 fils sont nécessaires		
4	Quand le thermostat de régulation d'un climatiseur Window ouvre son contact, le compresseur et le ventilateur s'arrêtent		
5	Si un condensateur de 60 MFD est utilisé pour démarrer un compresseur, il faut à coup sûr utiliser un relais de tension		
6	La fréquence d'un courant alternatif nous indique le temps que met le courant pour passer 2 alternances.		
7	Si un hacheur de phase commande un ventilo-condenseur, il hache les alternances lorsque la HP diminue		
8	Si un voltmètre mesure un courant alternatif de 14 V la tension efficace correspondante est d'environ 10 V		
9	Le courant redressé double alternances s'obtient avec un pont de diode		
10	Une platine Inverter classique converti le courant monophasé en courant triphasé		
11	Plus la fréquence du courant d'alimentation augmente et plus la vitesse de rotation du compresseur augmente		
12	Plus la fréquence du courant d'alimentation augmente et plus le débit masse de fluide frigorigène augmente		
13	Les compresseurs de type Scroll utilisés avec un système Inverter sont toujours alimentés en triphasé		
14	Avec un climatiseur Inverter classique, la fréquence du courant d'alimentation est d'autant plus importante que la température ambiante est éloignée du point de consigne désiré		
15	Si un moteur à courant continu en est équipé, la tension délivrée par son générateur tachymétrique est d'autant plus importante que la vitesse du moteur est élevée.		

CORRIGÉ DE L'EXERCICE

1 : Faux. En théorie, ce serait exact, mais en pratique, le moteur grille instantanément ! - 2 : Faux. L'impédance doit bien sûr être raccordée en série. - 3 : Faux. Il faut 6 fils car la carcasse du moteur doit obligatoirement être raccordée à la terre. - 4 : Faux. Seul le compresseur s'arrête, le ventilateur continue de fonctionner. - 5 : Vrai. Un condensateur au papier de 60 µF serait énorme. L'utilisation d'un condensateur électrolytique (qui ne peut pas rester plus de 5 secondes sous tension) oblige à installer un relais de tension. - 6 : Vrai. Par exemple 50 Hz signifie 50 périodes par seconde (avec 1 période = 2 alternances tous les 1/50 de seconde). - 7 : Vrai. Et il laisse passer l'intégralité des alternances si la HP est trop élevée. - 8 : Faux. Le voltmètre étant étalonné en tension efficace, celle-ci est de 14 volts (notez que la tension maximale correspondante est alors de 14 x 1,41 = environ 19,7 V). - 9 : Vrai. Le pont de diode étant constitué de 4 diodes. - 10 : Vrai. Et la fréquence du courant triphasé est variable. - 11 : Vrai. - 12 : Vrai. Le compresseur tournant alors plus vite, il aspire et refoule davantage de fluide frigorigène. - 13 : Faux. La tendance actuelle est d'utiliser des compresseurs alimentés en courant continu. - 14 : Vrai. C'est l'un des avantages de l'Inverter. - 15 : Vrai.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU DÉTENDEUR ÉLECTRONIQUE

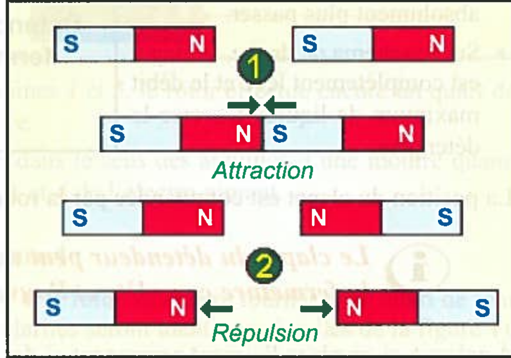
Étant donné que la vitesse du compresseur est variable sur un climatiseur Inverter, le détendeur doit être capable de fonctionner correctement quel que soit le débit masse de fluide frigorigène. Si un détendeur capillaire peut parfois être utilisé sur des petits appareils, de nombreux splits (et en particulier les multi-splits, c'est-à-dire les appareils possédant plusieurs unités extérieures raccordées sur une unité intérieure unique) sont équipés d'un ou de plusieurs détendeurs électroniques. L'objet de ce chapitre est de comprendre comment fonctionnent ces détendeurs, généralement commandés par un moteur pas-à-pas.

Quelques rappels de magnétisme.

Quelle que soit leur origine, tous les aimants possèdent 2 pôles : un pôle Nord et un pôle Sud.

Figure 1 : Rappelez-vous que si l'on approche 2 pôles contraires, ils s'attirent.

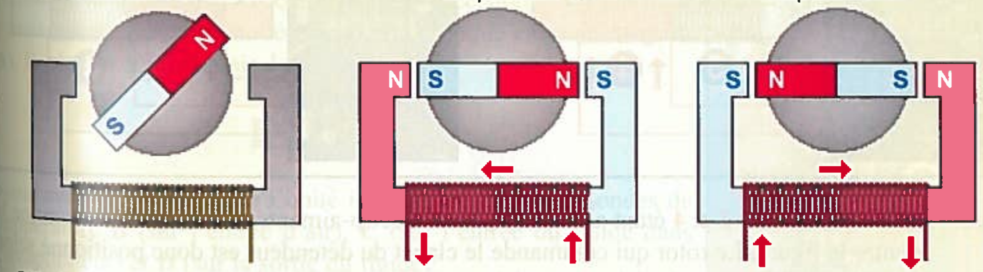
Figure 2 : A l'inverse, 2 pôles identiques se repoussent.



Les aimants naturels conservent en permanence leurs propriétés magnétiques. A l'inverse, le magnétisme d'un électro-aimant n'apparaît que lorsque sa bobine est parcourue par un courant électrique. Quand on coupe l'alimentation de la bobine, l'électro-aimant redevient un simple morceau de ferraille sans aucun magnétisme.

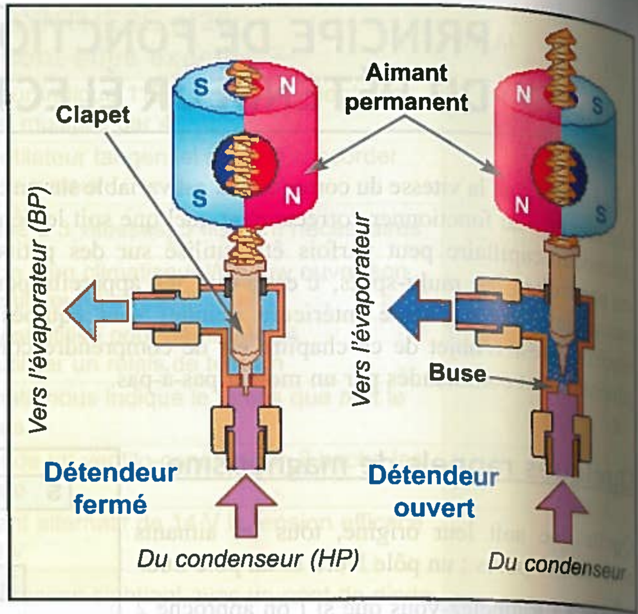
Si on installe un aimant naturel sur un rotor mobile, son pôle nord indique le pôle Nord terrestre (qui est en fait le pôle Sud magnétique). L'examen des schémas ci-dessous nous montre que, soumis au champ magnétique d'un électro-aimant, un aimant permanent se positionne en fonction des polarités de l'électro-aimant, lesquelles dépendent du sens du courant qui traverse sa bobine.

S'il est monté sur un rotor, l'aimant naturel indique le Nord terrestre, comme une boussole | Soumis au champ magnétique de l'électro-aimant, l'aimant naturel modifie sa position | Les pôles de l'électro-aimant étant inversés, l'aimant naturel se repositionne



S'il n'y a pas de courant dans sa bobine, l'électro-aimant n'est qu'un morceau de ferraille sans aucun magnétisme | Si un courant traverse la bobine, le morceau de ferraille devient un électro-aimant avec ses 2 pôles | Si on inverse le sens du courant dans la bobine, les 2 pôles de l'électro-aimant s'inversent

Nous avons dessiné ci-contre *le schéma de principe simplifié* d'un modèle de détendeur électronique. Le détendeur capillaire est remplacé par une buse très étroite qui assure la 'frontière' entre la HP et la BP.



Mais, contrairement au détendeur capillaire, l'orifice de passage du détendeur électronique est variable selon la position du clapet :

- Sur le schéma de gauche, le clapet ferme complètement la buse et le liquide HP ne peut absolument plus passer.
- Sur le schéma de droite, le clapet est complètement levé et le débit maximum de liquide traverse le détendeur.

La position du clapet est commandée par la rotation de l'aimant permanent cylindrique (le rotor).

Le clapet du détendeur peut occuper n'importe quelle position entre la fermeture complète et l'ouverture complète.

A présent, si on place l'aimant permanent ci-dessus dans l'entrefer de 2 électro-aimants, on obtient un moteur pas-à-pas que l'on peut piloter par une platine électronique.

Fig. 1

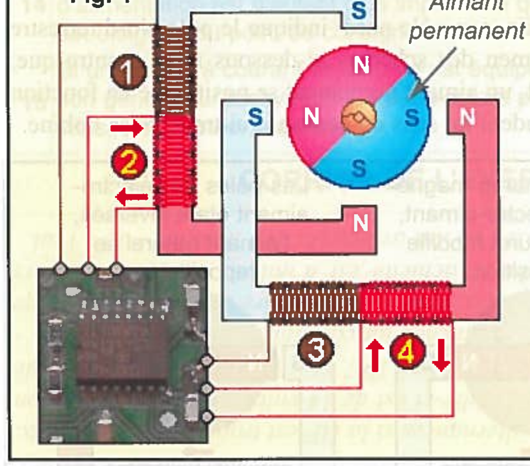


Fig. 2

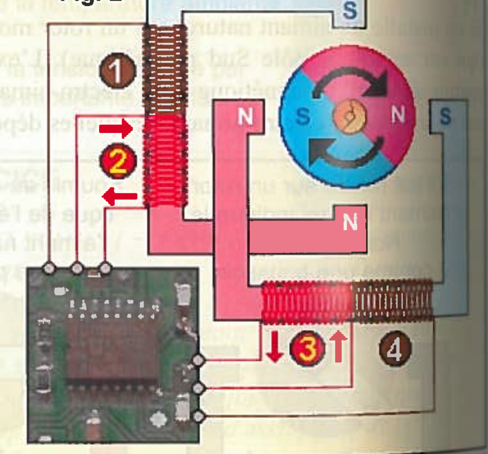


Fig. 1 : Seules les bobines 2 et 4 étant alimentées, les 2 électro-aimants sont magnétisés comme le montre la figure. Le rotor qui commande le clapet du détendeur est donc positionné selon les règles d'attraction-répulsion magnétiques vues page précédente.

Fig. 2 : A ce moment, si l'électronique coupe l'alimentation de la bobine 4 et excite la bobine 3 de l'électro-aimant inférieur, la permutation de ses polarités provoque la rotation du rotor d'un quart de tour dans le sens des aiguilles d'une montre.

Fig. 3

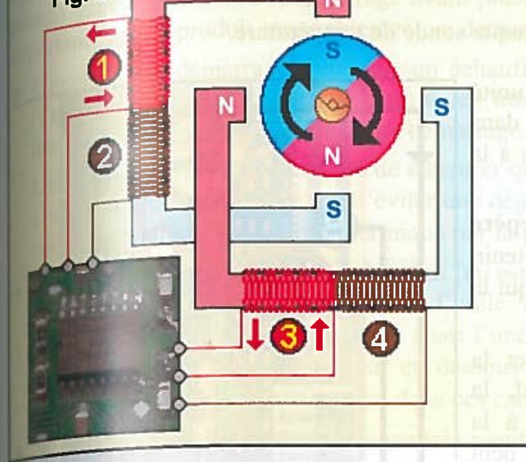


Fig. 4

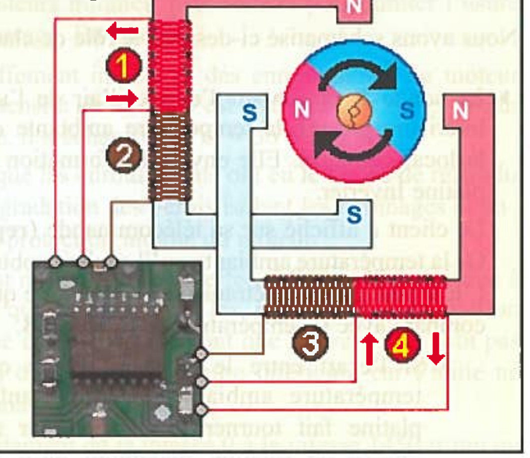


Fig. 3 : Si la platine n'alimente ensuite que les bobines 1 et 3, le rotor effectue encore un quart de tour dans le sens des aiguilles d'une montre.

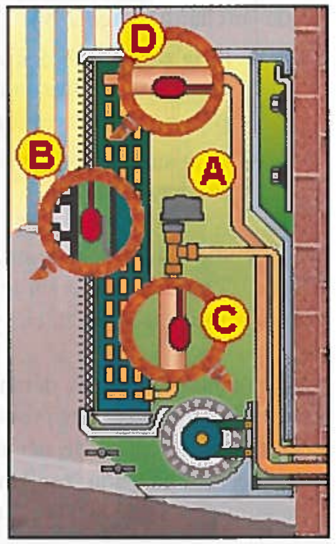
Fig. 4 : Le rotor tourne encore d'un quart de tour dans le sens des aiguilles d'une montre quand l'électronique n'alimente que les bobines 1 et 4 de l'électro-aimant.

A ce moment, en **partant de la position de la figure 4 :**

- Si l'électronique n'alimente que les bobine 2 et 4, le rotor va encore tourner d'un quart de tour *dans le sens des aiguilles d'une montre* (les polarités seront identiques à celles de la figure 1).
- Au contraire, si l'électronique n'alimente que les bobine 1 et 3, le rotor va tourner d'un quart de tour, mais *dans le sens inverse des aiguilles d'une montre* en se repositionnant exactement comme sur la figure 3.

En résumé, l'électronique peut faire tourner ce moteur pas-à-pas de plusieurs tours dans un sens ou dans l'autre, avec une précision de un quart de tour.

Selon les modèles de détendeur électronique, le passage de la position entièrement fermée à la position entièrement ouverte peut nécessiter plusieurs centaines d'impulsions sur le moteur pas-à-pas (parfois même près de 2000 !). C'est dire que ces détendeurs peuvent être positionnés avec une extrême précision. Bien sûr, pour commander la position du détendeur électronique ci-contre (repère A), la platine doit recevoir des informations.



EXERCICE :

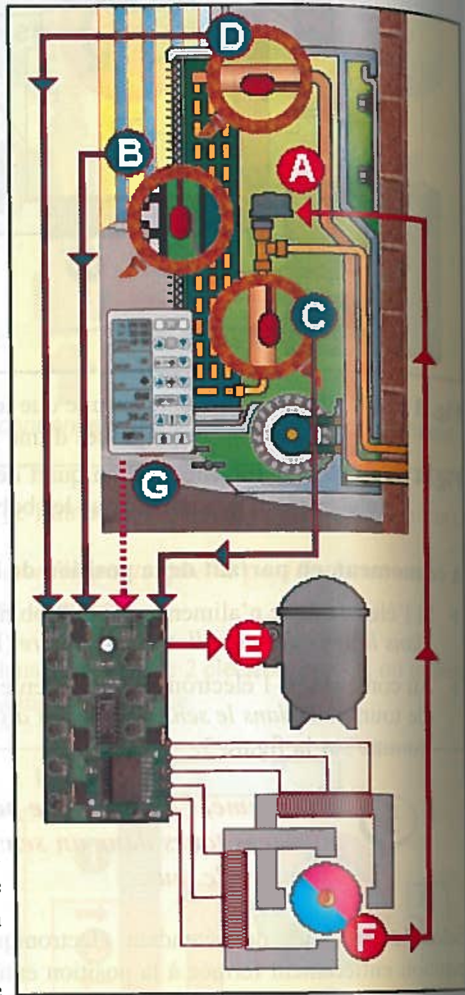
Nous avons représenté sur l'unité intérieure ci-contre 3 sondes de température **B** (sur l'entrée d'air), **C** (sur l'entrée du fluide dans l'évaporateur) et **D** (sur la sortie du fluide).

Selon vous, quel est le rôle de chacune de ces sondes et comment interviennent-elles pour décider de la position du détendeur ?

Solution page suivante.

Correction de l'exercice :

Nous avons schématisé ci-dessous le rôle de chaque sonde de température.



- La sonde **B** placée sur l'entrée d'air de l'unité intérieure mesure la température ambiante dans le local climatisé. Elle envoie l'information à la platine Inverter.
  Le client a affiché sur sa télécommande (**repère G**) la température ambiante qu'il souhaite obtenir. L'information est télétransmise à la platine qui la compare avec la température de la sonde **B**.
  - Si l'écart entre le désir du client et la température ambiante est important, la platine fait tourner le compresseur à la vitesse de rotation maximum qu'il peut tolérer.
  - Plus l'écart entre les 2 températures est faible et plus la platine diminue la vitesse du compresseur jusqu'à atteindre la vitesse minimum qu'il peut tolérer.
  - S'il n'y a pas d'écart, la platine procède à l'arrêt du compresseur.
- La sonde **C** indique à la platine Inverter la température du liquide à la sortie du détendeur, *c'est-à-dire la température d'évaporation du fluide frigorigène.*
- La sonde **D** indique à la platine la température des vapeurs surchauffées à la sortie de l'évaporateur. Elle calcule alors **θ sonde D - θ sonde C** ce qui lui indique la surchauffe des vapeurs à la sortie de l'évaporateur (en cas de besoin, révisez la notion de surchauffe *page 249*).
  - Si la surchauffe des vapeurs est trop élevée (et que le compresseur tourne), la platine actionne le moteur pas-à-pas (repère **F**) afin de provoquer l'ouverture du détendeur électronique (repère **A**).
  - Si la surchauffe des vapeurs est trop faible, la platine provoque au contraire la fermeture du détendeur.

S'il y a une panne de courant, tout s'arrête. Quand la tension revient, la platine envoie le nombre d'impulsions nécessaires sur le moteur pas-à-pas afin de s'assurer que le détendeur est complètement fermé. Ensuite seulement, elle procède au redémarrage du compresseur, s'il est en demande.

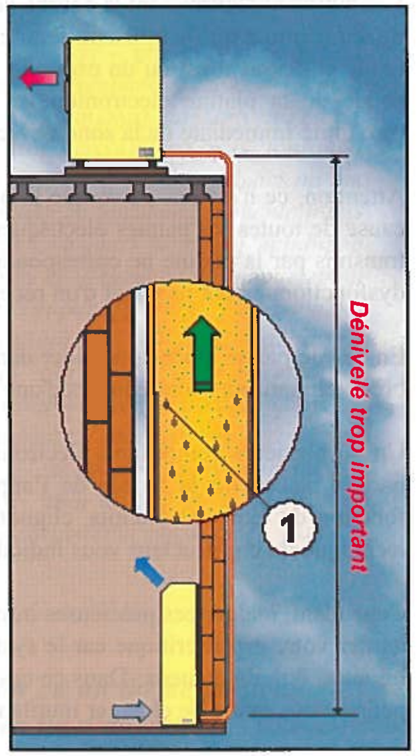
Généralement, avant de démarrer le compresseur, la platine ouvre légèrement le détendeur pour assurer l'équilibrage des pressions HP et BP de sorte à réduire le couple résistant du compresseur et donc son intensité de démarrage. Le compresseur est ensuite démarré à la plus faible vitesse possible, ce qui non seulement réduit son intensité de démarrage mais également le choc mécanique (plus de 80% de l'usure des compresseurs se produit au moment du démarrage).

Rappelez-vous également qu'après un arrêt du compresseur, un dispositif anti courts-cycles interdit généralement son redémarrage avant plusieurs minutes, précisément pour limiter l'usure importante qui se produit invariablement au démarrage. En effet :

- L'intensité de démarrage provoque un échauffement important des enroulements du moteur (l'échauffement variant comme le carré de l'intensité absorbée, c'est dire que si le compresseur tire 6 fois son intensité nominale au démarrage, il s'échauffe 6 x 6 = 36 fois plus !).
  L'anti courts-cycles permet donc de s'assurer que les enroulements ont eu le temps de refroidir avant le démarrage dans le but d'éviter une dégradation des vernis isolant les bobinages et un risque de coupure en sécurité thermique par la protection interne du moteur.
- Au démarrage, le compresseur n'est pas (ou est mal) lubrifié. En effet, il faut qu'il parvienne à une vitesse minimum permettant à l'huile qui circule dans les canaux de lubrification d'atteindre les pièces mobiles (c'est aussi l'une des raisons qui font que l'Inverter ne peut pas réduire la vitesse du compresseur en dessous d'une certaine limite inférieure car l'huile ne pourrait plus circuler correctement dans ces canaux).
- Au démarrage, un compresseur passe très rapidement de la vitesse 0 à la vitesse 1450 tr/mn ou pire encore de 0 à 2800 tr/mn (selon le modèle de compresseur). Ce formidable à-coup mécanique très violent qui se produit à chaque démarrage sur des pièces mobiles mal lubrifiées provoque à la longue une usure prématurée du compresseur.

En assurant une fonction anti courts-cycles et en démarrant le compresseur à faible vitesse, l'Inverter permet donc également de prolonger la durée de vie des compresseurs.

Enfin, nous avons déjà vu *page 220* que c'est la vitesse des vapeurs du fluide frigorigène qui permet la remontée de l'huile dans les tuyauteries verticales, tant que la vitesse des gaz reste supérieure à environ 5 mètres par seconde.



De plus, si le dénivelé est trop important, l'huile ne parvient plus à remonter malgré l'action de la vitesse du fluide.

Elle se décroche alors des parois (**repère 1**) et retombe par gravité pour s'accumuler dans le bas du tube.

Avec le système Inverter, la vitesse du compresseur étant variable, le débit de fluide frigorigène l'est également.

Comme le diamètre des tuyauteries est fixe, plus le compresseur tourne lentement, plus la vitesse des gaz dans les tuyauteries diminue et plus les risques de piéger de l'huile augmentent.

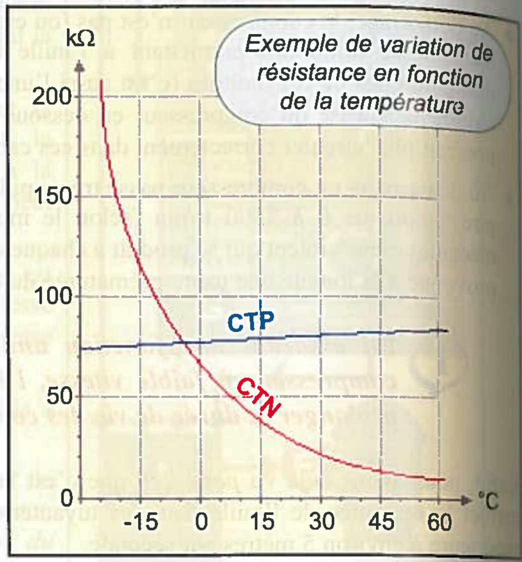
Si l'huile revient mal au compresseur, des gros problèmes mécaniques sont inévitables.

Avec un Inverter, il est donc vital de respecter scrupuleusement les dénivelés et les longueurs maximales de tube indiqués par le constructeur.

Après un certain temps de fonctionnement à faible vitesse, de l'huile risque de rester piégée dans l'installation. La platine Inverter peut alors forcer le compresseur à tourner à pleine vitesse (avec le détendeur ouvert) pendant une vingtaine de secondes. L'augmentation qui en résulte du débit de fluide frigorigène (et donc de sa vitesse) permet de ramener dans le carter du compresseur l'huile éventuellement piégée dans le circuit.

Pour réaliser toutes ces fonctions (et bien d'autres), la platine Inverter a besoin d'informations, en particulier de connaître la température des points névralgiques du circuit. Pour cela, on utilise la propriété qu'ont les résistances à varier en fonction de la température. Il en existe de 2 sortes :

- Les CTP (**C**oefficient de **T**empérature **P**ositif) dont les variations de résistance avec la température sont plutôt faibles.
- Les CTN (**C**oefficient de **T**empérature **N**égatif) dont les variations de résistance avec la température sont beaucoup plus importantes.



Comme on le voit sur la courbe, pour une même variation de température, la résistance d'une CTP varie beaucoup moins que celle d'une CTN. Ce sont donc des CTN (souvent appelées thermistances) qui sont les plus utilisées car leur importante sensibilité aux variations de température permet d'utiliser une électronique moins sophistiquée.

Les fabricants fournissent la courbe des sondes de température qu'ils utilisent. Pour contrôler une sonde, il est nécessaire d'en posséder la courbe (celle ci-dessus n'est qu'un exemple, il existe des centaines de CTN différentes). Déconnectez la sonde de la platine électronique et mesurez sa résistance. Comparez alors la température à proximité immédiate de la sonde avec celle indiquée par la courbe.

Attention, ce n'est pas parce que la platine est le cerveau du climatiseur qu'elle est forcément la cause de toutes les pannes électriques. Si l'information n'arrive pas, ou si elle est fausse, l'ordre transmis par la platine ne correspondra pas aux besoins réels du local à climatiser. De plus, si le dysfonctionnement provient d'un récepteur, changer la platine ne solutionnera pas le problème.



En cas de panne, pour vous aider dans votre recherche, de nombreux climatiseurs sont équipés d'une fonction d'auto-diagnostic.

Un ou plusieurs composants électroniques lumineux (LED) sont parfois placés sur la façade de l'appareil ou sur la platine. En fonction de leur état (éteints, clignotants ou allumés), la notice technique du constructeur vous indique l'élément défectueux.

Cependant, malgré ces précieuses informations, il est essentiel de garder votre esprit critique car le système d'auto-diagnostic peut lui aussi être défectueux. Dans ce cas, seul votre esprit d'analyse pourra vous éviter de changer inutilement un élément.

EXERCICE DE SYNTHÈSE n°27 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX
1 Si on approche le pôle Sud d'un aimant du pôle Nord d'un autre aimant, ces 2 aimants s'attirent		
2 Un détendeur électronique commandé par un moteur pas-à-pas peut être positionné avec une précision maximale de 1/2 tour		
3 Pour passer de la position entièrement ouverte à la position entièrement fermée, près de 2000 impulsions sont parfois nécessaires sur certains modèles de détendeur électronique		
4 Avec un Inverter, plus l'écart entre la température ambiante et la température de consigne est élevé et moins le compresseur tourne vite		
5 Sur un split 'froid seul', la platine Inverter calcule la différence θ d'évaporation - θ sortie évaporateur, ce qui lui permet de connaître la surchauffe et de positionner en conséquence le détendeur		
6 Si la surchauffe mesurée par la platine augmente, elle provoque la fermeture du détendeur		
7 Quand le courant revient après une coupure, la platine commence par ouvrir complètement le détendeur		
8 L'Inverter démarre le compresseur à la plus faible vitesse possible		
9 Pendant la durée du démarrage, si un compresseur tire 5 fois son intensité nominale, il s'échauffe alors 5 fois plus		
10 Si le compresseur tourne longtemps à faible vitesse, de l'huile risque de rester piégée dans le circuit		
11 Plus la température d'une sonde CTN augmente et plus sa résistance diminue		

CORRIGÉ DE L'EXERCICE

FAUX	VRAI

1 : Vrai. Deux pôles magnétisés Nord et Sud s'attirent toujours. - 2 : Faux. La précision est généralement de 1/4 de tour. - 3 : Vrai. Sur la plupart des modèles, plusieurs centaines d'impulsions sont nécessaires. - 4 : Faux. C'est l'inverse. Plus l'écart est important et plus il faut fournir de puissance frigorifique, et donc augmenter la vitesse du compresseur. - 5 : Faux. La surchauffe est une valeur positive. Elle est égale à θ sortie évaporateur - θ d'évaporation (le reste est vrai). - 6 : Faux. Quand la surchauffe augmente, c'est que l'évaporateur est mal rempli en liquide. Au contraire, la platine ouvre donc le détendeur lorsque la surchauffe augmente. - 7 : Faux. Quand le courant revient, la platine ignore quelle était la position exacte du détendeur au moment de la coupure. Comme il est hors de question de provoquer des coups de liquide, la platine commence par le fermer complètement. - 8 : Vrai. Cela permet de réduire simultanément l'intensité de démarrage et le choc mécanique, donc de prolonger la durée de vie du compresseur. - 9 : Faux. L'échauffement varie comme le carré de l'intensité. C'est pourquoi, si le compresseur tire 5 fois plus d'intensité, il s'échauffe 5 x5 = 25 fois plus. - 10 : Vrai. Certains Inverters forcent alors le compresseur à tourner à pleine vitesse (avec le détendeur ouvert) pendant une vingtaine de secondes afin de ramener l'huile éventuellement piégée dans le circuit. - 11 : Vrai. D'où son appellation 'coefficient de température positif'.

Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

EXERCICE

↘ ↗ →

Afin de réviser les notions de base, si une flèche vers le bas signifie " tendance à diminuer ", une flèche vers le haut signifie " tendance à augmenter " et une flèche horizontale signifie " rien de vraiment caractéristique ", quelle est la panne en cause pour chacun des tableaux de tendance ci-dessous ?

Correction en bas de la page.

	Panne 1	Panne 2	Panne 3	Panne 4	Panne 5	Panne 6
HP	↘	↗	↘	↘	↗	↘
BP	↘	↗	↘	↗	↗	↘
Surchauffe	↗	→	↗	→	→	↘
Sous refroidissement	↘	↘	→	→	↗	→

Panne 1 : Il s'agit de toute évidence d'une panne BP. La grande surchauffe indique un manque de fluide dans l'évapo. Le faible S/R indique un manque de fluide dans le condenseur. Puisqu'il manque du fluide à la fois dans l'évapo et dans le condenseur, il s'agit d'un manque de charge.

Panne 2 : Il s'agit cette fois d'une panne HP. La surchauffe n'a rien de caractéristique mais le faible S/R indique sans aucun doute un condenseur trop petit : soit le condenseur est sale, soit il y a un manque de débit d'air.

Panne 3 : De nouveau, il s'agit d'une panne BP. La grande surchauffe indique un manque de fluide dans l'évapo mais le S/R étant correct, il y a du fluide dans le condenseur. Pourquoi ce fluide ne parvient-il pas dans l'évapo : soit il y a une prédétente (ce qui est facile à vérifier) sinon c'est un problème de détendeur trop petit.

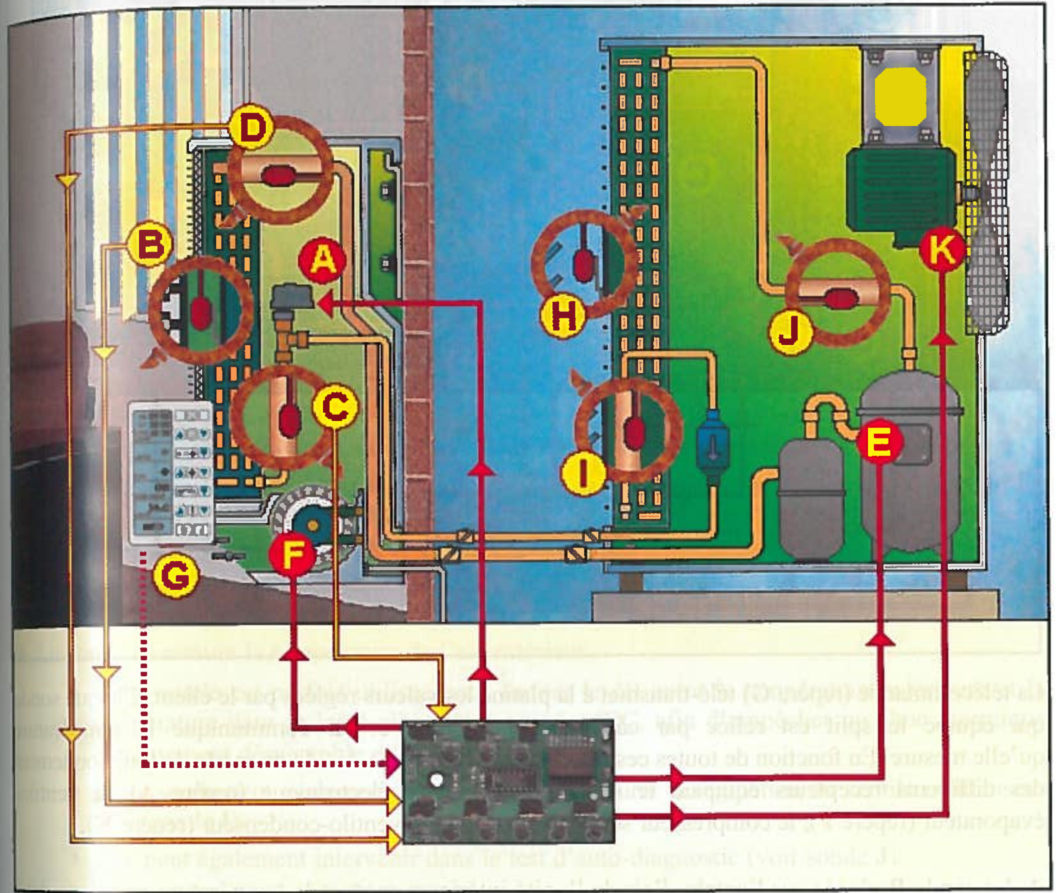
Panne 4 : La seule panne provoquant une HP faible alors que la BP est élevée est la panne du compresseur trop petit.

Panne 5 : Il s'agit cette fois d'une panne HP avec un S/R élevé. Il y a 2 possibilités : soit un excès de charge, soit beaucoup d'incondensables.

Panne 6 : La seule BP donnant une surchauffe faible est un évapo trop petit avec laquelle il y a également 2 possibilités : soit un manque de débit d'air, soit l'évapo est encrassé.

LE SPLIT INVERTER FROID SEUL

Maintenant que nous connaissons le principe de fonctionnement des différents matériels que l'on risque de rencontrer sur un système Inverter, nous allons exercer nos différents acquis sur le split Inverter " froid seul " ci-dessous.



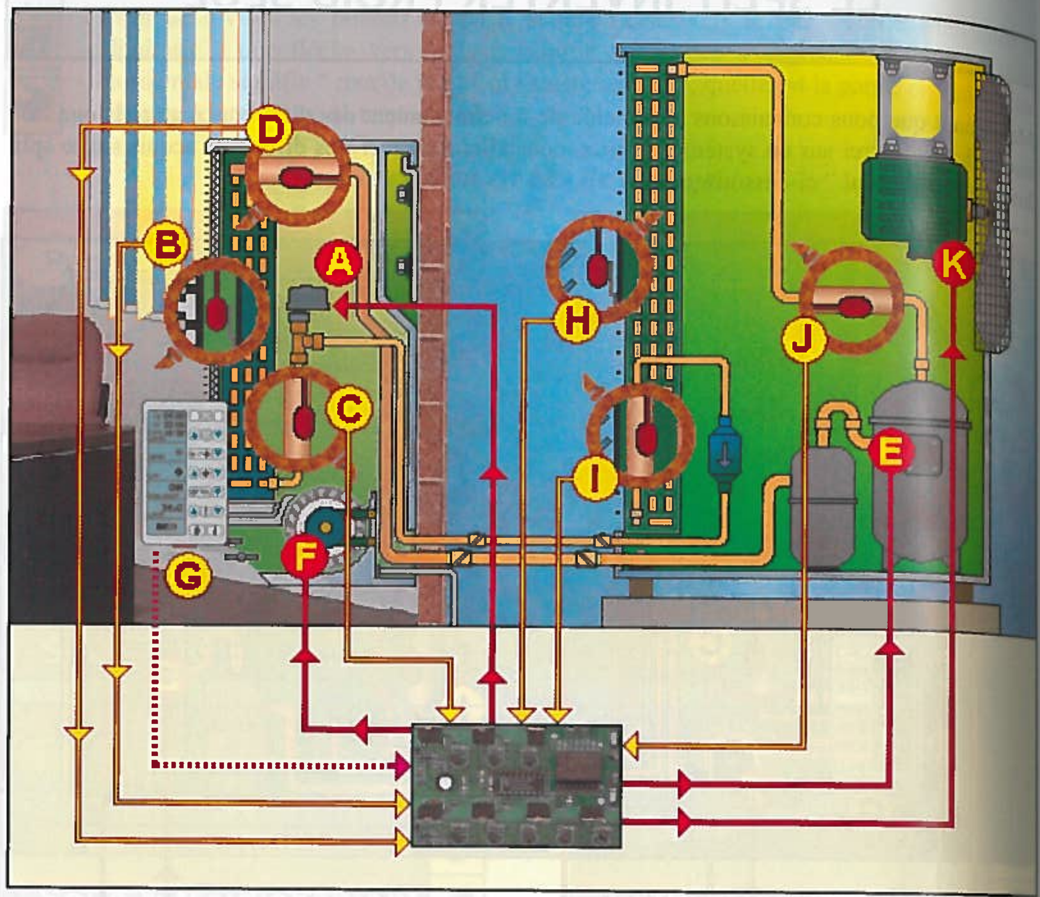
EXERCICE

Nous avons détaillé dans l'exercice de la *page 397* le rôle des différentes sondes de température susceptibles d'équiper l'unité intérieure d'un Inverter.

Nous avons rajouté ci-dessus l'unité extérieure ainsi que quelques sondes que vous pourriez rencontrer (repères **H**, **I** et **J**). Selon vous, quel est le rôle de chacune de ces sondes ?

Solution page suivante.

Correction de l'exercice :



La télécommande (repère **G**) télé-transmet à la platine les valeurs réglées par le client. Chaque sonde qui équipe le split est reliée par câblage à la platine et lui communique la température qu'elle mesure. En fonction de toutes ces informations, la platine décide du mode de fonctionnement des différents récepteurs équipant le split : le détendeur électronique (repère **A**), le ventilo-évaporateur (repère **F**), le compresseur scroll (repère **E**) et le ventilo-condenseur (repère **K**).

- La sonde **B** placée sur l'entrée d'air de l'unité intérieure mesure la température ambiante dans le local climatisé.
- La sonde **C** mesure la température d'évaporation du fluide frigorigène.
- La sonde **D** mesure la température des vapeurs surchauffées à la sortie de l'évaporateur.
- La sonde **H** mesure la température de l'air à l'entrée de l'unité extérieure.
- La sonde **I** mesure la température du liquide sous refroidi dans le bas du condenseur.
- La sonde **J** mesure la température des vapeurs surchauffées au refoulement du compresseur.

Selon le fabricant, le modèle, la qualité (donc le prix) et la puissance du split, les choix technologiques et les équipements peuvent être extrêmement variés. Il y a des centaines de splits Inverters différents et le schéma ci-dessus n'est qu'un exemple destiné à faciliter votre compréhension.

- La sonde **B** a pour rôle de mesurer la température ambiante du local climatisé.
  - La platine électronique calcule le $\Delta\theta$ entre la température de cette sonde et la température de consigne affichée par le client sur la télécommande **G** afin de déterminer la vitesse de rotation du compresseur (plus l'écart est grand et plus la vitesse sera élevée afin d'augmenter la puissance frigorifique).
  - Quand le compresseur fonctionne depuis quelques minutes, la platine vérifie que la température ambiante est bien supérieure à la température des vapeurs surchauffées (sonde **D**), elle-même supérieure à la température d'évaporation mesurée par la sonde **C**. Si ces 3 valeurs ne respectent pas cet ordre logique la platine peut, par sa fonction d'auto-diagnostic, avertir qu'une sonde est défectueuse et signaler laquelle.
- La sonde **C** mesure la température d'évaporation à la sortie du détendeur.
  - La platine s'assure que la température d'évaporation reste positive afin d'éviter une prise en glace de l'échangeur intérieur (qui pourrait se produire en cas de panne BP).
    Si la température d'évaporation diminue dangereusement, la platine réduit la vitesse du compresseur. Si le défaut devient trop sévère, la platine arrête complètement la machine et signale le défaut.
  - Cette sonde peut également être utilisée conjointement avec la sonde **D** pour réguler le détendeur électronique.
  - Cette sonde est soumise à la plus faible température du circuit. Elle intervient dans le test d'auto-diagnostic (voir sonde **B**).
- La sonde **D** mesure la température des vapeurs surchauffées à la sortie de l'évaporateur.
  - Quand cette sonde est utilisée, la platine peut calculer le $\Delta\theta$ avec la sonde **C** (ce qui lui permet de connaître la surchauffe) et positionner en conséquence le détendeur afin d'assurer un remplissage optimal de l'évaporateur, sans risque de coups de liquide.
  - Cette sonde intervient également dans le test d'auto-diagnostic (voir sonde **B**).
- La sonde **H** mesure la température de l'air extérieur.
  - Cette sonde est parfois utilisée pour limiter le $\Delta\theta$ entre la température extérieure et la température dans le local climatisé à environ 8°C, afin d'empêcher un choc thermique extrêmement désagréable en été.
  - Cette sonde peut également être utilisée pour assurer la régulation du ventilo condenseur (voir sonde **I**).
  - Elle peut également intervenir dans le test d'auto-diagnostic (voir sonde **J**).
- La sonde **I** mesure la température du liquide sous refroidi à la sortie du condenseur.
  - Pour une température extérieure donnée et en fonction de la vitesse de rotation du compresseur, la platine peut évaluer l'ordre de grandeur de la température du liquide sous refroidi et de la température de refoulement qu'on devrait obtenir.
    L'électronique peut donc ajuster la vitesse du ventilo-condenseur en fonction de ces 3 paramètres afin d'optimiser le fonctionnement.
  - Cette sonde peut également intervenir dans le test d'auto-diagnostic (voir sonde **J**).
- La sonde **J** mesure la température des vapeurs surchauffées au refoulement du compresseur.
  - Une température de refoulement trop élevée indique un échauffement excessif du compresseur. De plus, cela risque de dégrader très sérieusement les caractéristiques de l'huile...

C'est pourquoi, si la température de refoulement a tendance à augmenter dangereusement, (généralement au-dessus d'une centaine de °C), la platine réduit au fur et à mesure la vitesse de rotation du compresseur. Malgré cela, si le défaut persiste, la platine arrête le compresseur et signale l'anomalie.

- La température de refoulement dépend entre autre de la température d'aspiration et de la puissance électrique absorbée par le compresseur. Sur certaines machines, on utilise cette relation pour réguler l'ouverture du détendeur en fonction de la température du refoulement (si la température augmente, la platine ouvre le détendeur afin de diminuer la surchauffe à l'aspiration).
- Quand le compresseur fonctionne depuis quelques minutes, la platine vérifie que la température de refoulement est bien supérieure à la température du liquide sous refroidi (sonde **I**), elle-même supérieure à la température extérieure (sonde **H**).

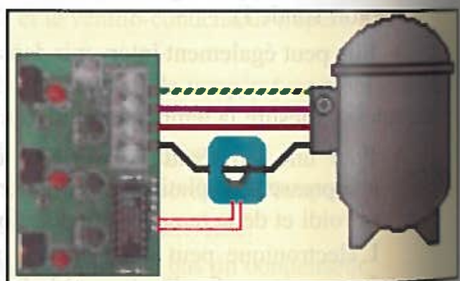
  Si ces 3 valeurs ne respectent pas cet ordre logique, la platine peut déterminer qu'une sonde est défectueuse et signaler laquelle par sa fonction d'auto-diagnostic.

Outre les tests de cohérence entre les différentes sondes, la platine peut également contrôler qu'aucune de ces sondes (nous avons vu *page 400* qu'il s'agit de CTN) ne présente une résistance anormalement faible ou beaucoup trop élevée.

- Si la résistance d'une sonde est trop faible, soit elle est en court-circuit, soit la température qu'elle mesure est extrêmement élevée.

  Par exemple, une sonde de refoulement plus ou moins en court circuit (donc avec une résistance très faible) signifierait une température très élevée à la sortie du compresseur. En conséquence, la platine stoppe la machine. Mais, selon sa sophistication, si la platine mesure par exemple 300°C au refoulement (ce qui est impossible sauf en cas d'incendie), elle ne signalera pas un " défaut température de refoulement trop élevée " mais un " défaut sonde de refoulement ", ce qui simplifiera bigrement le dépannage.
- Si la résistance de la sonde est trop élevée, soit elle est coupée (ou il y a un mauvais contact électrique), soit la température qu'elle mesure est extrêmement faible.

  Par exemple, une sonde d'ambiance coupée (donc avec une résistance infinie) indiquerait une température dans le local climatisé très faible. Selon 'l'intelligence' de la platine, elle arrête le compresseur mais si elle mesure par exemple -200°C en ambiance, elle signalera un problème sur la sonde.



Notez également que la plupart des platines sont équipées d'un transfo d'intensité (c'est-à-dire une pince ampèremétrique) qui mesure l'intensité absorbée par le compresseur et la transmet à la platine.

Si cette intensité augmente dangereusement, la platine commence par réduire la vitesse du compresseur.

Si le défaut persiste ou si l'intensité dépasse la valeur limite, la platine stoppe le compresseur et signale le défaut.

Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

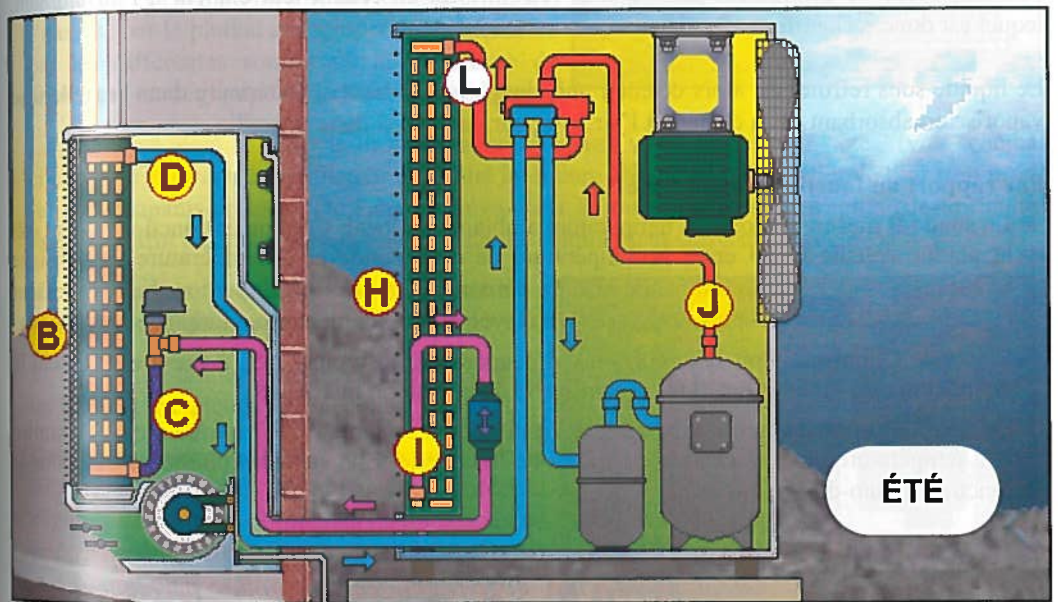
LE SPLIT INVERTER RÉVERSIBLE

Nous venons d'étudier dans le chapitre précédent le fonctionnement d'un split Inverter " froid seul ". Nous avons également examiné *page 347* le fonctionnement d'un climatiseur réversible. Il est donc temps de mettre vos connaissances en application sur l'appareil certainement le plus vendu actuellement en climatisation de confort : le split Inverter réversible, c'est-à-dire capable de rafraîchir un local en été mais également de le chauffer en hiver.

Il existe des centaines de modèles plus ou moins sophistiqués, chacun possédant des particularités et des choix technologiques parfois très différents (par exemple 1 seul détendeur capillaire, ou 1 seul détendeur électronique, ou 2 détendeurs, etc.).

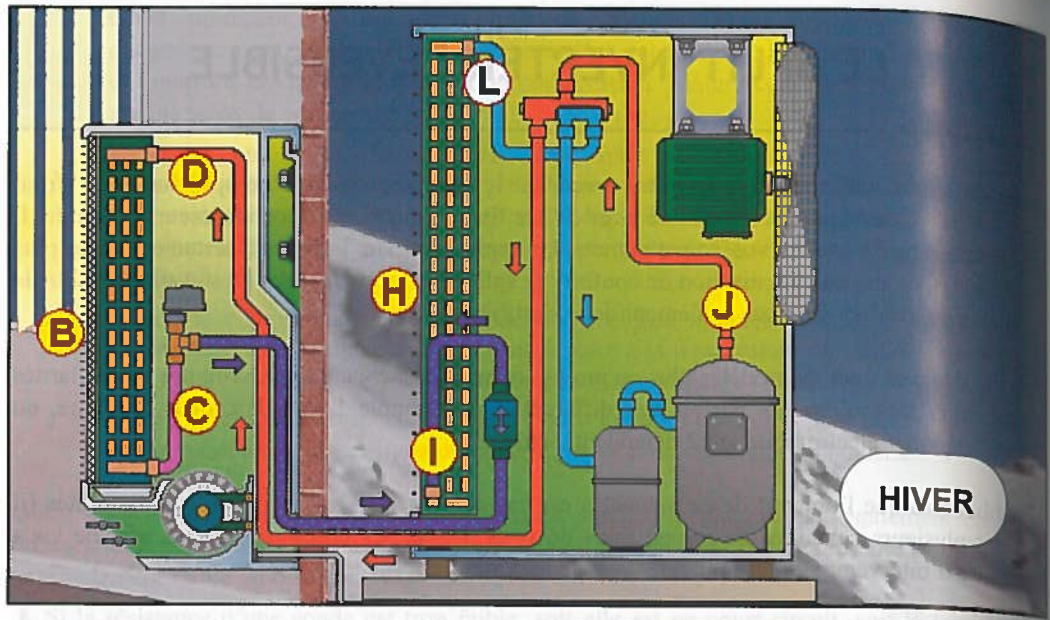
N'oubliez pas que l'objectif de ce manuel n'est pas de passer en revue toutes les possibilités (il faudrait plusieurs centaines de pages) mais de vous donner les bases nécessaires afin de vous permettre d'intervenir sur ces appareils avec le maximum d'efficacité.

Le modèle représenté ci-dessous n'est donc qu'un exemple. Gardez à l'esprit qu'il possède de nombreuses sondes qui ne sont pas toutes utilisées sur tous les appareils.



La Vanne 4 voies étant en position " été ", le fonctionnement de l'appareil est identique à celui de l'Inverter " froid seul " étudié dans le chapitre précédent. Nous avons simplement rajouté la sonde L qui sera principalement utilisée en fonctionnement " hiver ". Notez que le détendeur électronique ainsi que le déshydrateur qui sont utilisés sont tous 2 de type bi-directionnel, c'est-à-dire qu'ils sont spécialement conçus pour fonctionner quel que soit le sens de passage du fluide.

Vous avez tout à fait le droit d'imaginer le fonctionnement en hiver avant de continuer...



En fonctionnement “ hiver ”, le tiroir de la V4V a basculé vers la droite et les gaz chauds du refoulement sont maintenant dirigés vers la batterie de l'unité intérieure dans laquelle ils se désurchauffent, se condensent puis se sous refroidissent en cédant leur chaleur à l'air ambiant, lequel est donc réchauffé.

Le liquide sous refroidi est alors détendu puis dirigé vers la batterie extérieure dans laquelle il se vaporise en absorbant de la chaleur à l'air extérieur, lequel est donc refroidi.

Par rapport au fonctionnement “ été ” :

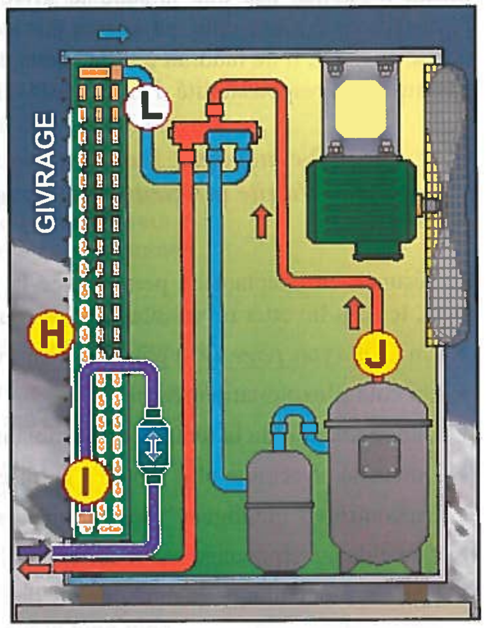
- La sonde **B** mesure toujours la température ambiante du local. Comme en fonctionnement été, la platine calcule le Δθ entre la température de cette sonde et la température de consigne télé-transmise par la télécommande afin de déterminer la vitesse de rotation du compresseur (plus l'écart est grand et plus la vitesse sera élevée afin d'augmenter la puissance calorifique).
- La sonde **C**, qui mesurait la température d'évaporation en régime “ été ” mesure à présent la température du liquide sous refroidi à la sortie de la batterie intérieure.
- La sonde **D**, qui mesurait la surchauffe à l'aspiration en régime “ été ” est maintenant soumise à la température des gaz chauds à l'entrée de la batterie. Elle est alors plutôt utilisée pour la fonction d'auto-diagnostic.

Afin de ne pas souffler de l'air 'frais' dans le local (principalement après un démarrage ou un dégivrage), ces 3 sondes permettent également à l'électronique de s'assurer que la température de l'échangeur intérieur est suffisamment élevée avant d'autoriser la mise en service du ventilateur.

Quand elle existe, la fonction “ Hot Keep ” dont nous avons parlé *page 199* signale ce mode de fonctionnement.

- La sonde **J** assure toujours les mêmes fonctions que sur le split 'froid seul' en contrôlant la température des vapeurs surchauffées au refoulement du compresseur.

- La sonde **H** mesure toujours la température de l'air extérieur.
- La sonde **I**, qui mesurait la température du liquide sous refroidi en régime “ été ” mesure à présent la température d'évaporation.
- La sonde **L** mesure la température des vapeurs surchauffées à la sortie de la batterie extérieure. Cependant, son rôle ne se limite pas à contrôler la surchauffe à l'aspiration (conjointement avec la sonde **I**) afin de régler l'ouverture du détendeur dans le but d'assurer un remplissage optimum de l'évaporateur.



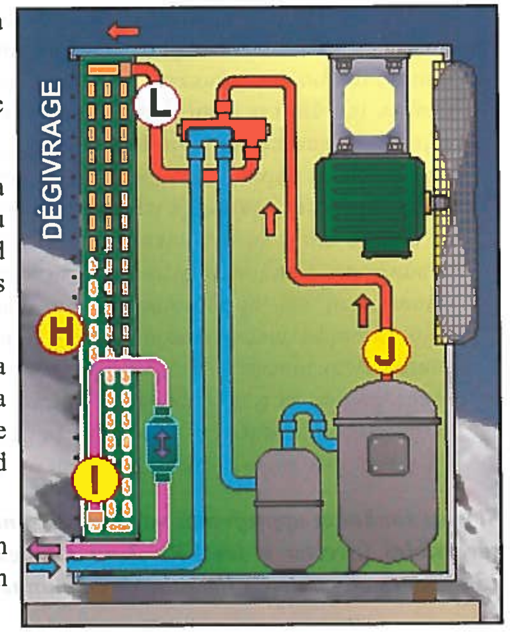
Effectivement, si l'appareil est en mode chauffage, c'est qu'il fait froid dehors. Or, la batterie extérieure refroidi précisément cet air déjà froid !

Comme la température d'évaporation est obligatoirement inférieure à la température extérieure, l'échangeur de l'unité extérieure va avoir tendance à givrer.

Mais l'accumulation de givre va alors provoquer les symptômes de la panne de l'évaporateur trop petit étudiée *page 289* (BP trop faible avec une surchauffe ayant tendance à diminuer).

Avant que ces symptômes ne deviennent critiques, l'analyse par la platine des températures mesurées par les différentes sondes va lui permettre de provoquer un dégivrage de la batterie extérieure.

La platine va alors basculer le tiroir de la vanne quatre voies en position “ été ” (voir schéma ci-dessous) et arrêter le ventilateur de l'unité intérieure afin de ne pas souffler de l'air trop froid sur les occupants du local. De même, elle va gérer le fonctionnement du ventilateur de l'unité extérieure afin de conserver une température de refoulement suffisamment élevée.



L'afflux de gaz très chauds dans la batterie va entraîner un dégivrage très efficace.

En effet, la fusion du givre en contact direct avec les tubes et les ailettes va “ décoller ” la glace.

Des blocs entiers vont alors se décrocher de la batterie, ce qui réduit généralement la durée du dégivrage à moins de 2 minutes (la durée dépend principalement de l'intervalle entre 2 dégivrages et des conditions extérieures).

Au fur et à mesure du dégivrage (voir schéma ci-contre), la température de la sonde **I** va augmenter jusqu'à ce que la platine considère que le dégivrage est terminé (par exemple quand la température dépasse un quinzaine de °C).

A ce moment, la platine re-basculer la V4V en mode “ hiver ” et le climatiseur sera à nouveau en mode chauffage (voir schéma page précédente).

Afin de ne pas souffler de l'air 'frais' dans le local, la platine s'assure que la température de l'échangeur intérieur est suffisamment élevée avant d'autoriser la remise en service du ventilateur. Rappelez-vous que la fonction “ Hot Keep ” dont nous avons parlé *page 199* signale ce mode fonctionnement (quand elle existe).

Enfin, n'oubliez pas que lorsque le givre fond, il se transforme en eau dont il faut prévoir l'évacuation. Par exemple, ne laissez pas l'eau de dégivrage couler sur un trottoir. Le split étant utilisé en hiver, il ne faudrait pas que cette eau prenne en glace sur le trottoir. En cas de chute d'un passant votre responsabilité d'installateur serait engagée.

Ne négligez jamais l'évacuation des condensats, que ce soit sur l'unité intérieure (voir page 187) ou sur l'unité extérieure.

En résumé, en adaptant en permanence la puissance du climatiseur aux charges thermiques du local, le split Inverter réversible offre de multiples avantages, en particulier :

- Un COP (voir *page 189*) plus élevé qu'avec un système traditionnel.
- Un coût d'exploitation réduit.
- Une régulation de la température ambiante plus fine.
- Une mise en régime plus rapide à la mise en route.
- Un contrôle “ intelligent ” des paramètres de fonctionnement.
- Une aide au dépannage par la fonction d'auto-diagnostic.
- Une augmentation de la durée de vie des compresseurs.

Si vous souhaitez approfondir vos connaissances et savoir comment fonctionnent les multi-splits réversibles Inverter et les VRV 2 ou 3 tubes, consultez le Manuel du Dépanneur 6e édition, 1387 pages en couleurs (la suite de ce manuel, du même auteur).

	QUIZ n°28 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX
1	La télécommande transmet à la platine par rayons ultra-violets les réglages effectués par le client.		
2	Sur un split ' froid seul ', l'auto-diagnostic signale un problème sur la sonde placée en sortie détendeur si, alors que le compresseur est en service, la θ mesurée par cette sonde n'est pas inférieure à celle de toutes les autres sondes de l'unité intérieure.		
3	Sur un split ' froid seul ', si la platine mesure une θ d'évaporation négative elle ralentit la vitesse du compresseur.		
4	Sur un split ' froid seul ' en fonctionnement, l'auto-diagnostic signale un problème sur la sonde placée au refoulement du compresseur si la θ mesurée par cette sonde n'est pas supérieure à celle de toutes les autres sondes de l'unité extérieure.		
5	Sur certains splits Inverter ' froid seul ', on utilise la θ de la sonde placée au refoulement du compresseur pour réguler le détendeur.		
6	Si la sonde CTN placée au refoulement du compresseur se coupe, la platine reçoit l'info d'une θ de refoulement anormalement élevée.		
7	Si l'intensité mesurée par le transfo d'intensité d'une platine Inverter devient trop importante, la platine réduit la vitesse du compresseur.		
8	Sur un split Inverter ' réversible ' la sonde placée sur le tube frigo raccordé en haut de la batterie extérieure a pour rôle de mesurer la θ de refoulement en été et la θ d'évaporation en hiver.		
9	Sur un split Inverter ' réversible ' la sonde placée sur le tube frigo raccordé en bas de la batterie extérieure a pour rôle de mesurer la θ du liquide sous refroidi en été et la θ d'évaporation en hiver.		

CORRIGÉ DE L'EXERCICE	VRAI	FAUX

1 : Faux. Les ultra-violets permettent de bronzer sur la plage. La transmission des réglages de la télécommande à la platine se fait par infrarouges. - 2 : Vrai. En sortie détendeur la sonde mesure la θ d'évaporation qui est obligatoirement la plus faible du circuit lorsque le compresseur tourne. - 3 : Vrai. En réduisant la vitesse la platine simule un compresseur trop petit, ce qui permet de remonter la BP afin d'éviter le givrage de l'évapo. - 4 : Vrai. La θ de refoulement est obligatoirement la température la plus élevée du circuit lorsque le compresseur fonctionne depuis quelques minutes. - 5 : Vrai. Si la θ de refoulement augmente, la platine ouvre le détendeur afin de diminuer la surchauffe à l'aspiration, ce qui permet effectivement de réduire la température de refoulement. - 6 : Faux. Si la sonde est coupée sa résistance est infinie et la platine comprend que la température de cette sonde est au contraire très faible (largement inférieure à -200°C !). La platine peut alors signaler que la sonde est coupée (ce qui est valable pour toutes les sondes). - 7 : Vrai. Et si le défaut persiste, la platine stoppe le compresseur et signale le défaut. - 8 : Faux. C'est exact pour l'été mais en hiver elle ne mesure pas la θ d'évaporation mais la θ des vapeurs surchauffées. - 9 : Vrai. En été, c'est le bas du condenseur mais en hiver c'est l'entrée de l'évapo.

NOTES PERSONNELLES

COMMENT PROCÉDER POUR RÉCUPÉRER LE FLUIDE FRIGORIGÈNE ?

Les problèmes liés au rejet des fluides frigorigènes dans l'atmosphère ont déjà été très largement commentés par les médias. L'action très néfaste des CFC (et dans une moindre mesure des HCFC) sur la couche d'ozone et sur l'augmentation de l'effet de serre est maintenant bien connue.

Depuis la signature du fameux protocole de Montréal en 1987, *que cela plaise ou non,* les instances internationales ont mis en œuvre une politique qui a fait interdire définitivement les CFC (R11, R12, R500, R502, etc.) avec un arrêt total de la production le 31/12/1994.

l'utilisation des CFC est désormais interdite en Europe, même dans le cadre de la maintenance, et elle est aujourd'hui très sévèrement réglementée dans de très nombreux pays.

Sur les installations existantes utilisant des CFC, les difficultés et les coûts d'approvisionnement ont entraîné à l'époque de nombreuses entreprises à utiliser des fluides de transition (FX10, FX56, DP40, HP80, HP81, etc.) pour remplacer les CFC, tout en sachant que ces fluides de transition étant des mélanges à base de HCFC, ils étaient également appelés à disparaître.

Beaucoup ont alors utilisé le R22 sur les installations neuves, autant en froid commercial qu'en climatisation, l'interdiction des HCFC semblant bien lointaine.

Puis, à partir du 01/01/2004, la réglementation Européenne a interdit l'utilisation des HCFC (R22, R123, etc.) sur les installations neuves.

Sur les nouvelles installations, on utilise dorénavant des fluides **HFC** (R404A, R407C, R410A, etc.) inoffensifs pour la couche d'ozone mais pas vraiment sur l'effet de serre. ***C'est pourquoi ces HFC sont également menacés et de nouvelles molécules commencent à apparaître.***

Les pouvoirs publics se sont intéressés très sérieusement au professionnalisme des entreprises amenées à intervenir sur des installations contenant plus de 2 kg de fluide frigorigène (et même 1 kg dans certains pays). Un durcissement de la réglementation est à prévoir, **quelle que soit la contenance en fluide de l'installation,** y compris pour la climatisation automobile.

Par le passé, les entreprises Françaises devaient fournir un dossier très complet des compétences professionnelles (en hommes et en matériel) pour être enregistrées auprès de leur préfecture après avis de l'association Française du Froid. Elles devaient également respecter de nouvelles règles d'intervention (techniques et administratives).

Depuis le 04/07/2008, ces règles sont modifiées et la législation pourrait bien encore se durcir ! De nombreux textes sont en préparation. Ainsi, indépendamment des problèmes écologiques et administratifs, la pénurie prévisible de HCFC devrait inciter très fortement la profession à prendre conscience des problèmes à venir.

En particulier l'importance de la récupération des fluides frigorigènes ne peut plus être ignorée.

L'objectif de ce chapitre est précisément de montrer *un rapide aperçu* des principales techniques de récupération des fluides usuels en froid commercial et en climatisation.

A) Les bouteilles de récupération :

Ces bouteilles, de couleur normalisée vert fluo, sont mises à la disposition des professionnels par les distributeurs de fluide frigorigène. ***Elles sont livrées avec une fiche d'identification à remplir après utilisation et elles sont " parfaitement propres " et " tirées au vide ".***

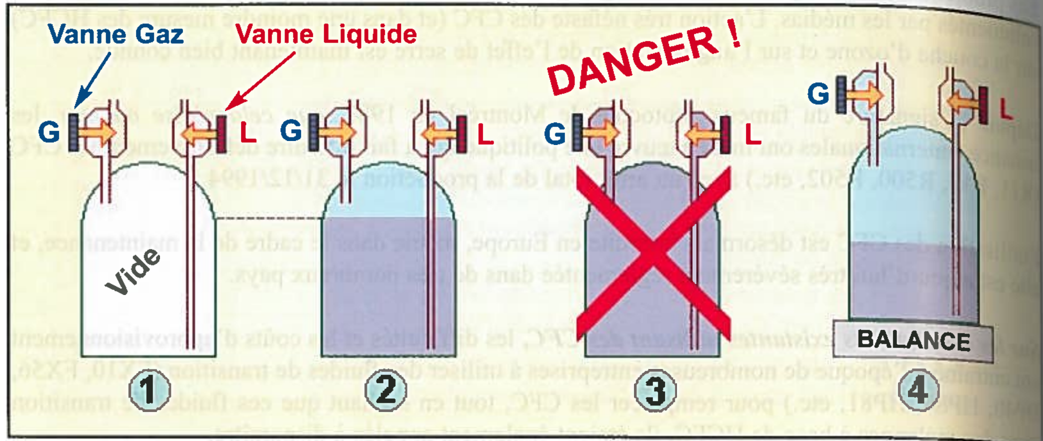


Fig. 1 : ces bouteilles sont équipées de 2 vannes de service. La vanne liquide rouge **L** est raccordée au fond de la bouteille par un tube plongeur et la vanne gaz bleue **G** est reliée au niveau maximum de remplissage, soit 80%.

Fig.2 et 3 : ***ces bouteilles ne doivent jamais être remplies au-delà de 80% de leur volume ni utilisées pour récupérer un fluide non indiqué sur l'emballage.*** En effet, *la pression dans une bouteille surchargée (ou chargée avec un fluide non prévu) pourrait atteindre de telles valeurs qu'il y aurait un risque énorme d'accident très grave.*

Soyez particulièrement attentifs avec le R410A dont les pressions sont très importantes aux températures usuelles : n'utilisez que des bouteilles de récupération expressément prévues pour ce fluide.

Fig.4 : toute opération de récupération nécessite de connaître au préalable (ou d'évaluer) la masse de fluide contenue dans l'installation afin de choisir une bouteille de récupération adaptée et de contenance suffisante. L'utilisation d'une balance est indispensable pour ne jamais dépasser dans la bouteille la masse maximum de fluide indiquée en fonction de son volume.

En cas de panne de la balance, *un très léger dégazage par la vanne gaz* ne doit laisser sortir que des vapeurs (cette technique rejetant du fluide à l'atmosphère, elle est bien sûr à utiliser avec la plus grande modération). Si c'est du liquide qui sort (l'aspect d'un jet liquide est facilement reconnaissable), c'est que le niveau dans la bouteille atteint ou dépasse le niveau maximum de 80%.

Dès à présent, rappelons-nous que le fluide récupéré est destiné à être recyclé. A de faibles tolérances près, il ne doit y avoir dans la bouteille ni mélange de fluides, ni eau, ni d'huile.

ATTENTION : il ne faut jamais mélanger 2 fluides frigorigènes différents dans une bouteille de récupération.

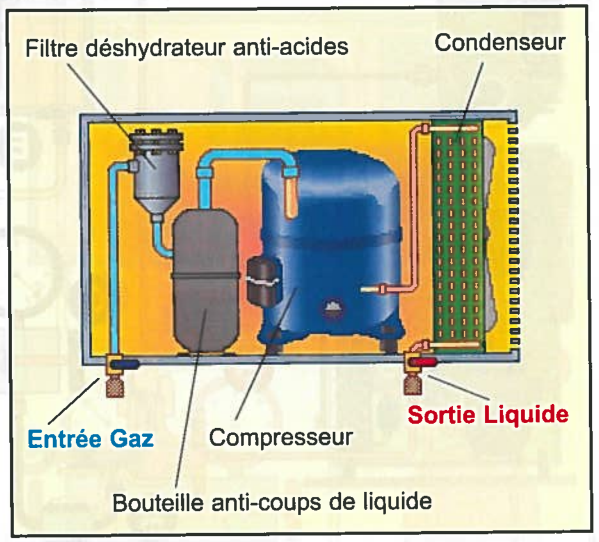
Le mélange ainsi obtenu serait irrécupérable et sa destruction très coûteuse. De même, la quantité d'huile, d'air ou d'eau présente dans le fluide récupéré devant être extrêmement faible, il faudra prendre de multiples précautions lors des manipulations (purge des flexibles, purge du groupe de transfert, etc.).

Rajoutons que chaque bouteille de récupération devra être clairement identifiée (nature et masse de fluide, raison sociale et adresse de l'entreprise, nom de l'opérateur) à l'aide d'une fiche fournie avec la bouteille afin d'éviter toute erreur.

Vous pourrez utilement vous renseigner auprès de votre distributeur de fluides pour tout renseignement complémentaire et actualisé.

B) Les groupes de transfert :

La récupération du fluide dans une installation se fait par l'intermédiaire d'un groupe de transfert, appelé aussi station de récupération, qui fait partie de la liste du matériel obligatoire pour obtenir un agrément. Il y a sur le marché de nombreuses stations de récupération différentes, chacune avec des débits de transfert plus ou moins importants, avec plus ou moins d'équipements et de possibilités d'utilisation (consultez votre distributeur de matériel frigorifique).



Vous voyez ci-contre un groupe possédant un minimum d'options mais néanmoins largement suffisant pour récupérer les petites masses de fluide contenues dans nos climatiseurs individuels :

- L'entrée gaz du groupe est destinée à être raccordée sur la vanne de service gaz du climatiseur par l'intermédiaire d'un jeu de manos (manifold.).
- Le filtre déshydrateur anti-acides protège le compresseur du groupe de transfert (le fluide récupéré pouvant être acide). La cartouche anti-acides doit être remplacée régulièrement (lire très attentivement la notice du fabricant).
- La bouteille anti-coups de liquide protège le compresseur d'une éventuelle fausse manipulation (la vanne gaz du groupe ne doit jamais être raccordée sur du liquide). Les risques sont toutefois limités sur les petits climatiseurs car il n'y a généralement pas de vanne de service sur le liquide. Notez cependant que de nombreux groupes de transfert plus sophistiqués permettent de choisir le mode de récupération : soit en gaz, soit en liquide. En cas de besoin, consultez la notice du fabricant.
- Le compresseur de la station doit également être surveillé et entretenu. Il est fortement recommandé de préférer un compresseur à " pistons secs " (qui limite les risques de contamination par les huiles) mais il est de votre intérêt de respecter scrupuleusement les recommandations du fabricant si vous ne voulez pas que ce compresseur rende l'âme prématurément.
- Le condenseur permet de transformer en liquide les vapeurs refoulés par la compresseur.
- La sortie liquide du groupe qui doit être raccordée sur la vanne liquide de la bouteille de récupération (voir page précédente).

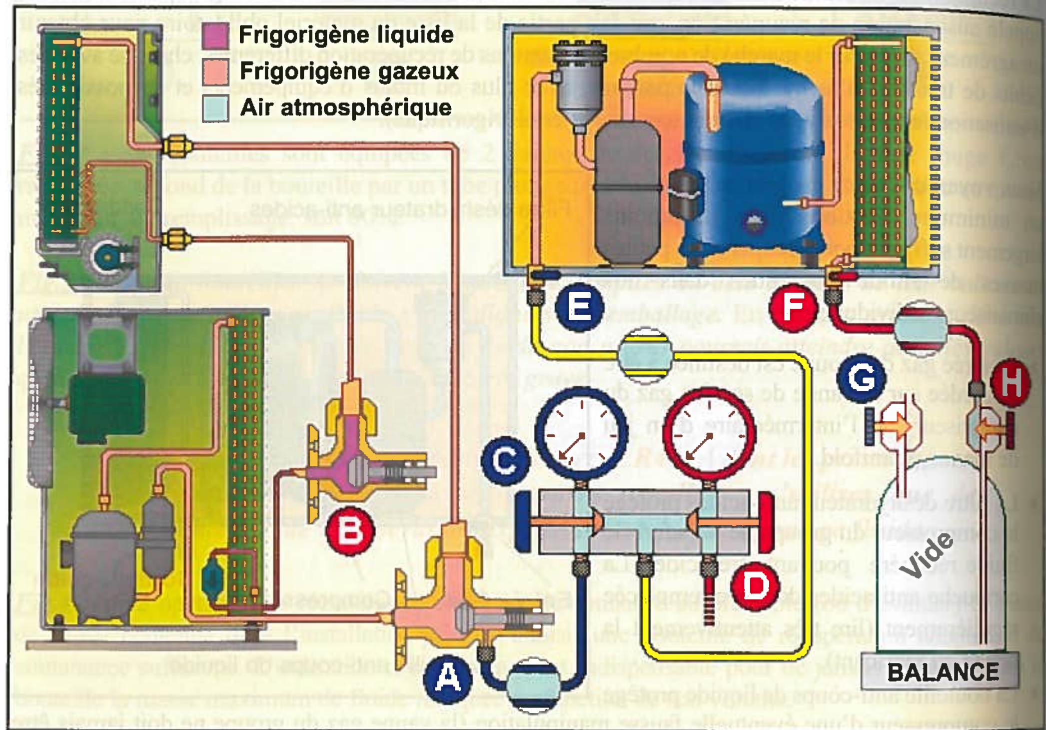
C) Récupération du fluide en gaz :

Cette manipulation doit être effectuée lorsqu'une intervention sur le circuit impose de retirer le fluide de l'installation et que la vanne de service liquide (**B**) ne possède pas de prise manométrique.

Le rejet du fluide dans l'atmosphère est rigoureusement interdit. Du fait de ses fortes pressions, il est essentiel qu'absolument tous les matériels utilisés avec le R410A soient homologués pour ce fluide.

Le schéma ci-dessous nous montre comment effectuer les divers raccordements entre le climatiseur, le groupe de transfert, le manifold et la bouteille de récupération lorsque le climatiseur n'est équipé que d'une prise de pression sur sa vanne de service gaz (**A**).

Ce schéma est donné à titre d'exemple. Il devra bien sûr être adapté au matériel que vous utiliserez.



En préalable, notez qu'afin d'écourter la durée de la récupération, il est toujours préférable d'utiliser des flexibles de raccordement les plus courts et de plus gros diamètre possible.

Au départ, les 2 vanne de service **A** et **B** sont en siège arrière, ce qui est leur position normale quand le climatiseur fonctionne. Le flexible **BP** du manifold est raccordé sur la vanne **A** (éventuellement, révisez le montage des manomètres *page 241*). Le flexible jaune est raccordé sur l'entrée gaz **E** du groupe de transfert. La sortie liquide **F** de ce groupe est raccordée sur la vanne liquide **H** de la bouteille de récupération.

Les vannes **C**, **D**, **E**, **F**, **G** et **H** sont toutes fermées.

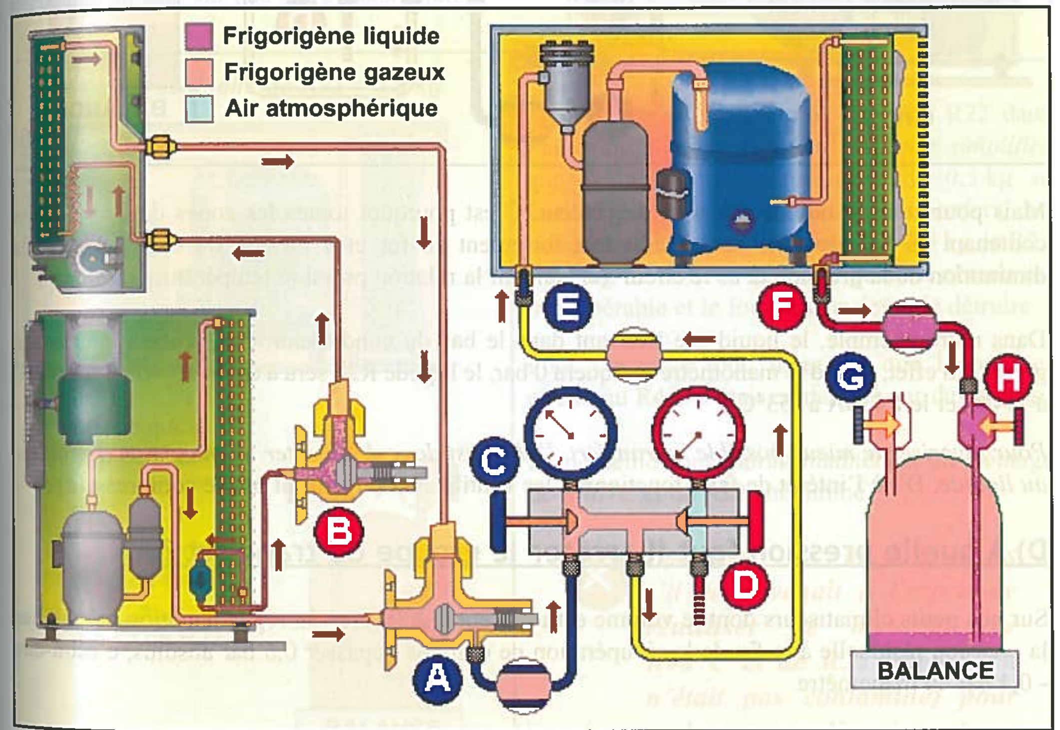
Si le groupe de transfert a été précédemment utilisé pour un fluide frigorigène différent de celui contenu dans le climatiseur, il faudra auparavant le purger ou procéder à un cycle d'auto-vidange (consultez la notice du fabricant).

Faites tourner le ventilateur de l'unité intérieure en grande vitesse.

Si possible, faites également fonctionner le ventilo-condenseur MAIS ATTENTION, le compresseur doit impérativement rester à l'arrêt.

Notez l'indication de la balance (certaines permettent une mise à zéro, l'affichage indiquant ensuite la masse supplémentaire de fluide dans la bouteille. Cependant, le fluide récupéré ne doit en aucun cas provoquer un dépassement des 80% admissibles). Ensuite, *en partant du schéma de la page de gauche*, ouvrez franchement la vanne **C**. Amenez la vanne **A** d'un demi tour vers l'avant et purgez par le raccord du flexible **E** afin d'évacuer l'air. Seulement ensuite, ouvrez la vanne **E**.

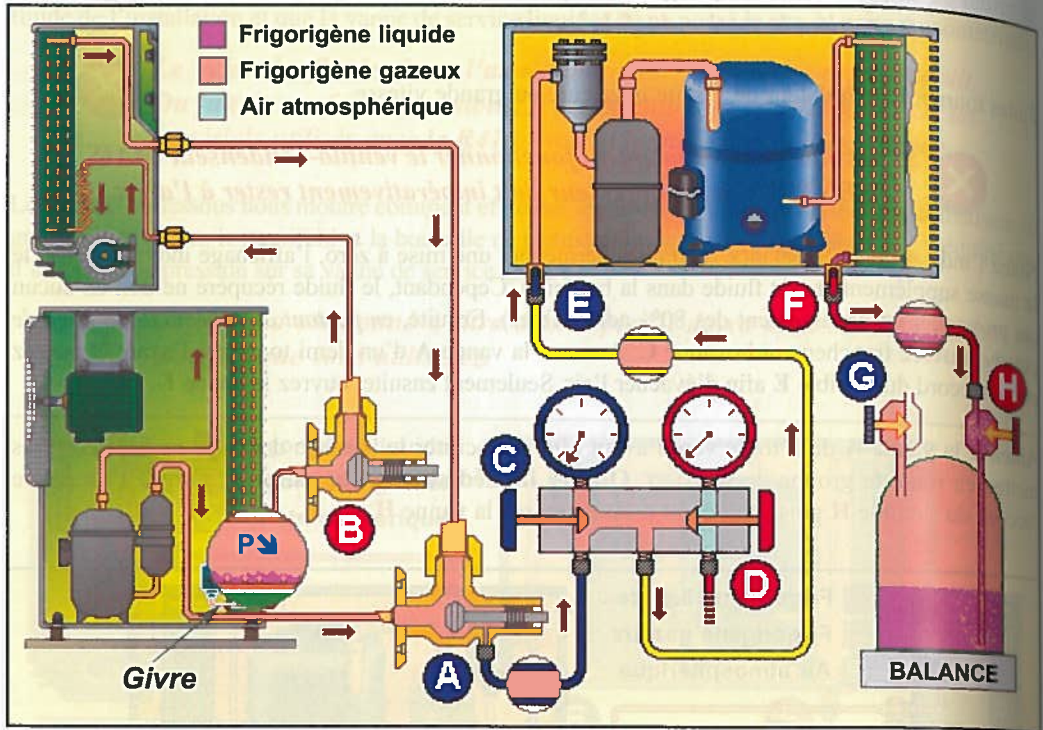
Amenez la vanne **A** de 2 tours vers l'avant afin de faciliter le passage des vapeurs aspirées puis mettez en route le groupe de transfert. **Ouvrez immédiatement la vanne F**, purgez l'air par le raccord du flexible **H** puis seulement ensuite ouvrez la vanne **H**.



Les vapeurs de fluide aspirées dans l'installation sont alors refoulées dans le condenseur du groupe de transfert puis envoyées dans la bouteille de récupération à l'état liquide. **Pensez à bien surveiller la balance afin de ne jamais dépasser la contenance maximale de la bouteille !**

Le manomètre BP du manifold (ou celui du groupe de transfert) permet d'apprécier la pression résiduelle restant dans l'installation à vider afin de décider de la fin des opérations...

Attendu qu'il y a du liquide dans l'installation et que le groupe de transfert ne va aspirer que des vapeurs, il va bien falloir que ce liquide puisse se vaporiser.



Mais pour cela, le liquide a besoin de chaleur. C'est pourquoi toutes les zones de l'installation contenant du liquide vont se refroidir très fortement au fur et à mesure du transfert et de la diminution de la pression dans le circuit (en suivant la relation pression température du fluide).

Dans notre exemple, le liquide se trouvant dans le bas du condenseur, cette zone va fortement givrer. En effet, quand le manomètre indiquera 0 bar, le liquide R22 sera à environ -40°C, le R407C à -44°C et le R410A à -53°C !

Pour favoriser le mieux possible le transfert, l'idéal est donc d'apporter un maximum de chaleur au liquide. D'où l'intérêt de faire fonctionner les ventilateurs (et surtout pas le compresseur).

D) A quelle pression faut-il arrêter le groupe de transfert ?

Sur nos petits climatiseurs dont le volume est inférieur à 200 litres, la réglementation prévoit que la pression résiduelle à la fin de la récupération ne doit pas dépasser 0,6 bar absolus, c'est-à-dire - 0,4 bar au manomètre.

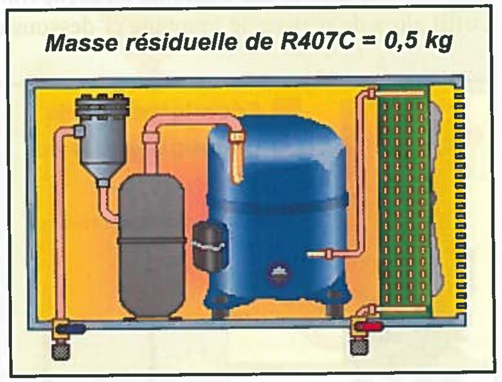
Cette valeur peut être difficile à atteindre. En effet, plus la pression diminue dans le circuit, moins le compresseur du groupe de transfert aspire de vapeurs et plus son taux de compression augmente : en clair, il chauffe énormément.

Si le compresseur tourne trop longtemps dans ces conditions, il déclenche généralement aux sécurités thermiques (sinon, il « grille »). Aussi, afin de ménager ces groupes de transfert, essayons de ne pas les faire tourner plus longtemps que nécessaire.

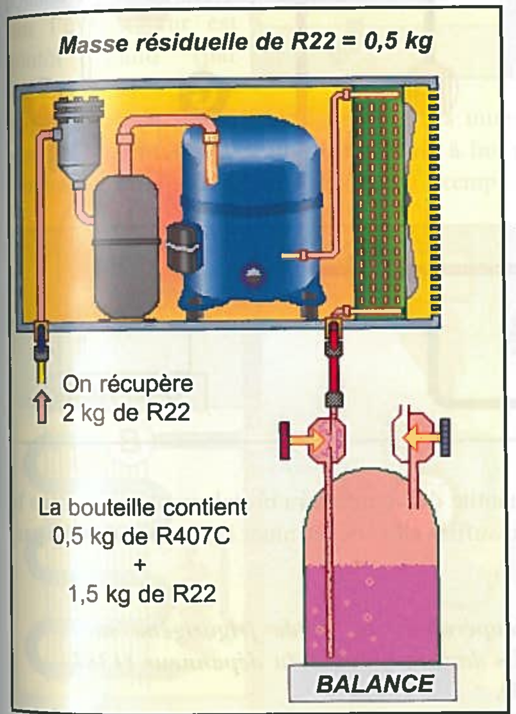
Bien sûr, la capacité du groupe de transfert doit être adaptée au volume de l'installation. En effet, s'il faut récupérer 5 kg de fluide, ne perdons pas de vue qu'une station de récupération ayant une capacité de transfert en gaz de 1 kg/h mettra 5 heures pour vider l'installation tandis qu'un groupe ayant une capacité de 10 kg/h ne mettra qu'une 1/2 d'heure !

Si un groupe de transfert est utilisé pour différents fluides admis par le constructeur (par exemple R22, R407C et R410A), il convient d'être particulièrement attentif à la masse de fluide pouvant rester dans le groupe à la fin de la récupération (cette quantité est loin d'être négligeable puisqu'elle peut dépasser 2 kg sur certaines grosses stations). A ce moment, une opération de récupération menée sur un fluide différent, ***sans vidange préalable du groupe de transfert***, risque de créer un problème de mélange de fluides.

Pour comprendre, imaginons qu'on utilise un groupe de transfert pour récupérer du R407C sur une installation. A la fin de l'opération, admettons que le volume interne du groupe de transfert piège 0,5 kg de R407C.



On utilise ensuite *le même groupe de transfert,* ***sans le vidanger ou faire une auto purge***, pour récupérer du R22 sur une autre installation.



Si on récupère par exemple 2 kg de R22 dans l'autre installation, en admettant *pour simplifier* que la même masse résiduelle de 0,5 kg se fait piéger dans le groupe de transfert, on récupère en réalité dans la bouteille 1,5 kg de R22 + 0,5 kg de R407C. Le mélange ainsi obtenu est irrécupérable et le fournisseur devra le détruire.

Pour corser le tout, imaginez que le premier circuit au R407C était contaminé par des acides.

La bouteille contiendrait maintenant un mélange de R407C et de R22 contaminé.

Imaginez les conséquences s'il vous venait à l'esprit de réutiliser ce mélange de R407C et de R22 (même s'il n'était pas contaminé) pour recharger un climatiseur !

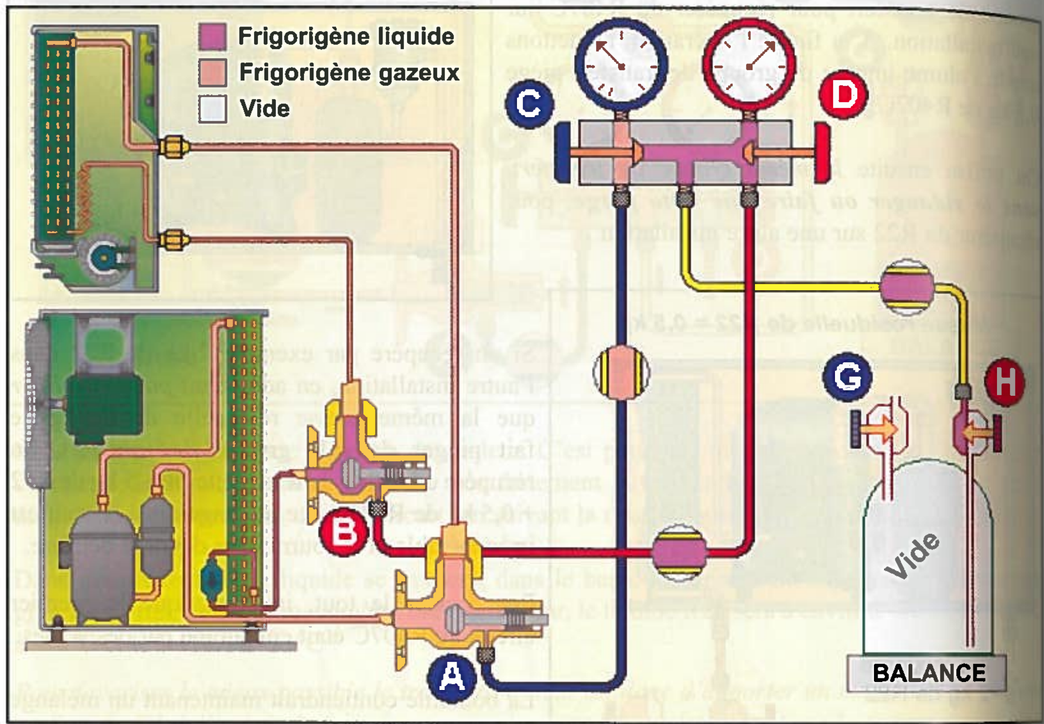
Tirons-en la leçon qu'il est indispensable de respecter toutes les procédures préconisées par le fabricant du groupe de transfert et qu'il est très dangereux de récupérer du fluide dans une installation pour le réintroduire dans une autre !

E) Récupération du fluide en liquide :

Il est toujours préférable de récupérer le fluide en phase liquide plutôt qu'en phase vapeur (la durée du transfert peut ainsi être divisée par plus de 10 !). Malheureusement, ce n'est pas toujours possible.

En effet, cela n'est possible que si la vanne de service liquide du climatiseur possède une prise de pression (repère **B**), ce qui est trop rarement le cas sur les petits appareils.

Si vous disposez d'une bouteille de récupération n'ayant pas encore servi, elle est tirée au vide. Il suffit alors de réaliser le montage ci-dessous en respectant les précautions décrites précédemment.



Dès l'ouverture de la vanne H, une importante quantité de liquide sera brutalement aspiré dans la bouteille. Quand les pressions seront équilibrées, il suffira alors de terminer la récupération en gaz.

Les différentes techniques de récupération du fluide frigorigène sont expliquées beaucoup plus en détails dans le manuel du dépanneur (1387 pages en couleurs, du même auteur).

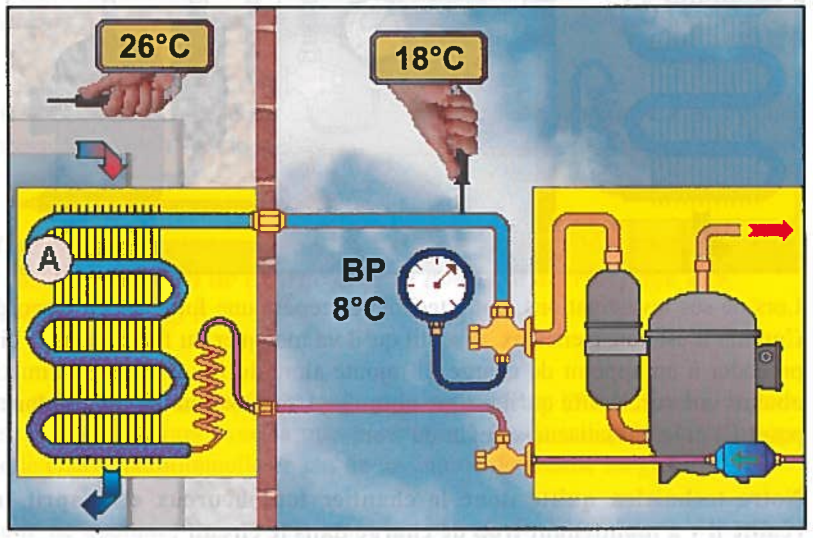
La récupération du fluide frigorigène sur une installation contenant de l'eau (Pompe à chaleur Air/Eau ou Eau/Eau) nécessite quelques précautions pour éviter les risques de prise ne glace d'un échangeur (voir page 681).

PEUT-ON FAIRE UN APPOINT DE CHARGE EN FLUIDE FRIGORIGÈNE ?

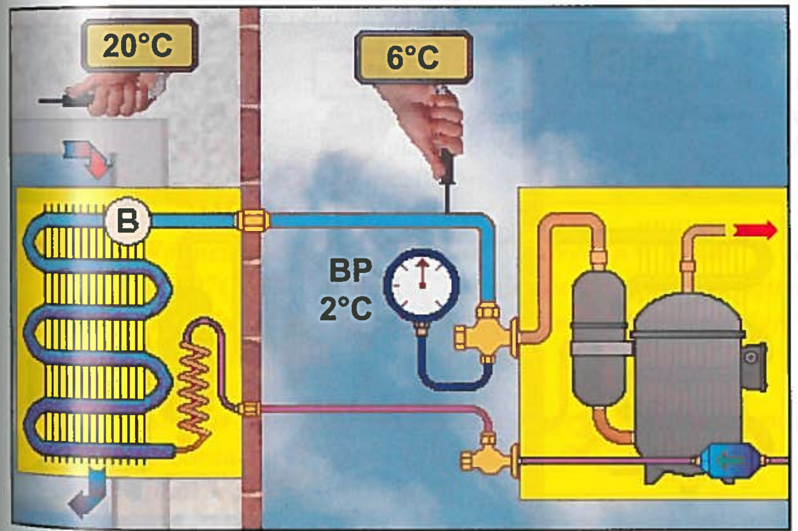
Problème de la charge en fluide frigorigène.

La charge en fluide frigorigène représente sans aucun doute l'un des problèmes les plus délicats sur nos petits climatiseurs.

Pour bien comprendre, regardons comment se comporte *le petit climatiseur ci-contre dont la charge en fluide est tout à fait correcte.*



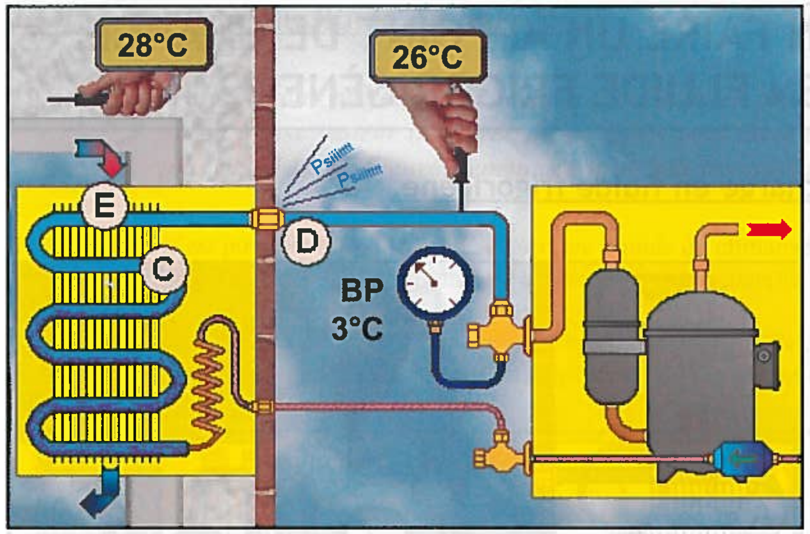
Quand l'air qui arrive sur l'évaporateur est plutôt chaud (par exemple 26°C), la vaporisation du fluide frigorigène est très intense. La dernière molécule de liquide se vaporise assez tôt *(point A).* Avec un Δθ total tout à fait normal de 18°C, la BP est de 26 - 18 = 8°C et la surchauffe est plutôt importante (dans l'exemple 18 - 8 = 10°C).



Plus tard, imaginons que l'air arrive par exemple à 20°C sur l'évaporateur.

L'air étant plus froid que précédemment, la vaporisation est moins intense et, ***attendu que le capillaire continue d'injecter quasiment la même quantité de fluide frigorigène***, la dernière molécule de liquide se rapproche de la sortie de l'évaporateur *(point B).*

Le Δθ total étant sensiblement constant, la BP est alors de 20 - 18 = 2°C. Mais, la longueur de tube en sortie de l'évaporateur qui permet de surchauffer les vapeurs est plus courte. De plus, l'air qui surchauffe ces vapeurs est plus froid : c'est pourquoi la surchauffe est obligatoirement plus faible (dans l'exemple, elle n'est plus que de 6 - 2 = 4°C).



Toujours sur le même climatiseur, imaginons à présent qu'un technicien appelé en dépannage mesure une température de 28°C en ambiance, une BP de 3°C et une surchauffe de 23°C.

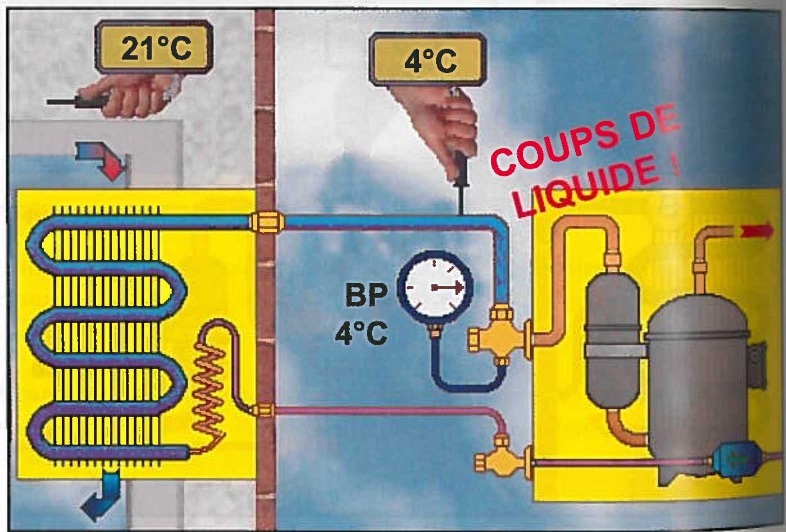
Comme nous l'avons vu *page 249*, ces valeurs indiquent un mauvais remplissage en fluide de l'évaporateur (point C).

Lors de ses investigations, notre technicien repère une fuite sur un raccord (point **D**) et la répare. Comme il est consciencieux, il se dit qu'il va manquer du fluide dans le circuit. Il décide donc de procéder à un appoint de charge. Il rajoute alors du fluide dans le climatiseur " au pif " jusqu'à obtenir une surchauffe qu'il estime normale. L'évaporateur se rempli donc (par exemple jusqu'au point E) et le climatiseur « refait du froid ».

Notre technicien quitte donc le chantier tout heureux et l'esprit tranquille alors qu'en réalité il y a maintenant trop de charge dans le circuit !

Nous venons de voir qu'avec un détendeur capillaire la surchauffe diminue au fur et mesure de la diminution de la température ambiante !

De plus, attendu qu'il y a maintenant un excès de fluide dans le circuit (la panne a été étudiée page 316), la HP est obligatoirement plus élevée que la normale et le capillaire débite donc davantage de liquide !



Si le thermostat est réglé pour couper par exemple à 21°C, il y alors de fortes chances pour que la surchauffe devienne nulle. A ce moment, du liquide risque d'arriver à l'aspiration du compresseur en plus ou moins grande quantité. Malgré la présence de la bouteille anti-coups de liquide, les risques pour le compresseur ne sont pas absolument pas négligeables.

Pour corser le tout, imaginez que le climatiseur soit chargé avec du R407C (nous avons étudié ce fluide à fort glissement *page 258*).

La fuite signifie que du R407C a été rejeté à la pression atmosphérique. Or, le R407C est un mélange à fort glissement : la composition de ce mélange a donc obligatoirement été modifiée (plus ou moins selon l'importance de la fuite).

En cas de fuite avec le R410A la composition du mélange n'est quasiment pas modifiée. Avec le R407C, elle l'est obligatoirement.

Si vous rajoutez du R407C " au pif " comme sur la page précédente, non seulement vous risquez d'endommager le compresseur mais en plus le mélange contenu dans le circuit ne sera absolument plus maîtrisé !

Au point ou nous en sommes, le summum de la faute professionnelle serait de faire un appoint de charge avec la bouteille décrite page 419 (R22 + R407C + acides) !

En conclusion, la bonne méthode sur ces petits circuits est de récupérer tout le fluide, de faire un léger tirage au vide puis de recharger avec la masse exacte de fluide indiquée sur la plaque signalétique + l'éventuelle charge additionnelle en cas de tuyauterie de grande longueur.

Cette charge additionnelle de quelques dizaines de grammes par mètre de tuyauterie dépend du diamètre et du fluide (se référer à la notice du constructeur).

Pour terminer, nous citerons le **R417A**, appelé aussi **ISCEON 59.** Ce mélange HFC de R134a, de R125 et de butane R600 présente un glissement de température de l'ordre de 4 à 5°C (donc légèrement plus faible que celui du R407C).

Son principal intérêt est qu'il permet d'effectuer un drop-in (c'est-à-dire un changement de fluide sans changer l'huile). En effet, le R417A est compatible avec les huiles minérales, alkylbenzène et ester. Il est parfois utilisé pour remplacer le R22, la perte de puissance frigorifique est alors de l'ordre de 5 à 20% selon le type d'installation.

Rappelez-vous qu'une charge avec un fluide à fort glissement (R407C, R417A) doit obligatoirement se faire en liquide. Une charge avec du R410A est tolérée en gaz mais reste cependant recommandée en liquide.

Si vous souhaitez obtenir davantage de renseignements, n'hésitez pas à contacter votre distributeur de fluides frigorigènes. Il se fera un plaisir de vous renseigner.

La récupération du fluide frigorigène sur une installation contenant de l'eau nécessite quelques précautions pour éviter qu'un échangeur prenne en glace (voir page 681).

ÉVOLUTIONS DE LA RÉGLEMENTATION SUR LES FLUIDES FRIGORIGÈNES

A) La mort des fluides CFC et HCFC.

A l'inverse des fluides CFC et HCFC, les fluides HFC n'ont absolument aucun effet sur la couche d'ozone. On dit que leur ODP (**O**zone **D**epletion **P**otential - Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone) est égal à 0.

Par contre, leur GWP (**G**lobal **W**arming **P**otential - Potentiel de Réchauffement Global) qui indique l'influence du fluide sur l'effet de serre, n'est absolument pas nul.

A titre informatif, vous trouverez ci-dessous le GWP de quelques un des fluides les plus courants.

R134a : 1430	R290 : 3	R404A : 3922	R407A : 2107
R407C : 1774	R407F : 1824	R410A : 2088	R417A: 2345
R422A : 3144	R422D : 2730	R427A : 2138	R434A : 3238
R507A : 3985	R600a : 3	R717 (NH_3) : 0	R744 (CO_2) : 1
HFO1234yf : 4	HFO1234ze : 6		

Toutes ces considérations (et d'autres) ont amené l'Europe à faire évoluer la réglementation. Pour rappel, nous avons indiqué les événements les plus importants :

- **Depuis le 01 Janvier 1995**, les fluides CFC (R11, R12, R502, etc.) ne sont plus fabriqués et leur utilisation est interdite depuis le 01 Janvier 2001.
- **Depuis le 01 Janvier 2004,** il est interdit de mettre sur le marché des équipements chargés avec un fluide HCFC (dont fait partie le R22). Il était encore possible d'acheter, de stocker et d'utiliser du R22 pour assurer la maintenance des installations existantes.
- **En France, le décret du 7 Mai 2007** officialise plusieurs mesures préconisées par l'Europe (dans le règlement appelé **F-Gas**), avec pour objectif de mettre fin aux mauvaises pratiques (fuites à répétition, dégazages sauvages, marché noir, etc.).
- **A partir du 01 Janvier 2010**, interdiction de stocker et d'utiliser des HCFC vierges ('neufs') pour assurer la maintenance des installations contenant un HCFC.
- **A partir du 04 Juillet 2011**, obligation de détenir une attestation d'aptitude pour intervenir sur un circuit frigorifique.
- **A partir du 01 Janvier 2015**, interdiction de stocker et d'utiliser des HCFC mêmes recyclés, le stockage de fluide étant considéré comme une recharge.

Même si les HFC ne contribuent (pour l'instant) qu'à environ 2% sur l'effet de serre, le risque serait que des mesures encore plus draconiennes ne soient prises, en particulier l'interdiction des fluides à fort GWP (voir tableau ci-dessus) déjà demandée par certains, *ce qui entraînerait des conséquences très importantes pour la profession.*

Les peines encourues en cas de violation de la loi peuvent aller jusqu'à 2 ans d'emprisonnement et 75 000€ d'amende.

Deux moyens sont nécessaires pour atteindre cet objectif de bonnes pratiques : la qualification du personnel d'intervention et son outillage.

B) Contrôle de la capacité des professionnels.

Pendant longtemps les professionnels devaient uniquement s'inscrire en préfecture. L'achat de fluides frigorigènes auprès des distributeurs était 'libre' et leur manipulation n'était pas contrôlée.

Dorénavant, personne ne peut plus acheter de fluides frigorigènes s'il ne possède pas un agrément.

Cet agrément concerne toutes les entreprises appelées à manipuler des fluides frigorigènes, quelle que soit la quantité, lors de la mise en service, de l'entretien, de la réparation ou du démantèlement d'une installation. L'agrément des entreprises doit être obtenu par l'intermédiaire d'un organisme lui-même agréé par l'état.

L'entreprise doit posséder l'outillage adéquat (détecteur de fuites, machine de récupération, balance, pompe à vide, bouteilles de récupération, etc.) et les personnels doivent être habilités par une attestation de capacité délivrée à l'issue d'un stage validé par un examen.

Si une entreprise possède plusieurs établissements, l'agrément doit être obtenu pour chacun d'entre eux. L'agrément est délivré à l'entreprise pour une durée maximale de 5 ans. Il peut être retiré si l'entreprise ne respecte pas certaines conditions (par exemple le rapport annuel précisant pour chaque fluide frigorigène les quantités achetées, chargées et récupérées).

La climatisation automobile, qui n'avait aucune contrainte jusqu'à présent, entre dans le cadre de la loi. La seule exception concerne pour l'instant les matériels à circuit hermétique préchargés (moins de 2 kg) raccordés à des réseaux électriques ou hydrauliques sans aucune manipulation de fluide (petites machines à glaçons, fontaines réfrigérées, climatiseurs de type window, etc.).

Pour effectuer l'une des tâches ci-dessous, il faut dorénavant posséder le certificat de la catégorie correspondante.

Pour chaque technicien, les types d'équipements sur lesquels il peut intervenir ainsi que les types d'activités qu'il peut exercer dépendent de ses diplômes ou de son attestation de capacité. Le règlement européen prévoit en effet que les connaissances des salariés soient évaluées par une épreuve théorique et par une épreuve pratique (voir détails pages 428 à 431).

Niveau de certification	Contrôle de l'étanchéité	Récupération des fluides frigorigènes	Installation	Entretien ou réparation
Niveau I	**OUI**			
Niveau II	Oui, s'il n'y a pas d'intervention sur le circuit frigo	Oui si l'installation contient moins de 2 kg de fluide frigorigène		
Niveau III	**NON**	Oui si l'installation contient moins de 2 kg de fluide	**NON**	**NON**
Niveau IV	Oui, s'il n'y a pas d'intervention sur le circuit frigo	**NON**	**NON**	**NON**

Il y a 4 niveaux de certification et seul le niveau I permet d'effectuer l'ensemble des tâches.

En ce qui concerne les salariés :

- Pour effectuer du contrôle d'étanchéité sur tous types d'installations (réfrigération, climatisation et pompes à chaleur) il faudra posséder le certificat de niveau IV.
- Pour récupérer du fluide sur les petites installations en contenant moins de 2 kg, il faudra posséder le certificat de niveau III.
- Mais, pour faire à la fois du contrôle d'étanchéité et de la récupération sur les installations contenant moins de 2 kg de fluide, il faudra posséder les 2 certificats de niveau III et de niveau IV.
- Pour les salariés qui n'interviennent que sur des petites installations contenant moins de 2 kg de fluide, un certificat de niveau II suffira pour l'ensemble des tâches.

En ce qui concerne les entreprises :

Elles pourront obtenir les certificats de niveau I à IV en justifiant qu'elles disposent du personnel avec les certificats correspondants ainsi que l'outillage nécessaire.

Liste des outillages requis :

CATEGORIES D'ACTIVITE	OUTILLAGE EXIGE
Catégorie I	Station de charge et de récupération conforme à la norme NF EN 35421. Bouteilles de récupération par type de fluide. Détecteur de fuites conforme à la norme NF EN 14624.
Catégorie II	Raccords flexibles avec obturateurs. Manomètres, thermomètre électronique et balance de précision 5 %. Matériel de marquage.
Catégorie III	Station de charge et de récupération conforme à la norme NF EN 35421. Bouteilles de récupération par type de fluide. Manomètres et balance de précision 5 %.
Catégorie IV	Détecteur de fuites conforme à la norme NF EN 14624. Manomètres, thermomètre.

C) Contrôle de l'étanchéité des installations.

Voir la réglementation sur le contrôle des fuites de fluide frigorigène *pages 282 et 283*.

La réglementation évolue sans cesse et ce chapitre risque de ne plus être à jour lorsque vous le lirez. Aussi, afin d'éviter des mauvaises surprises, tenez-vous informé auprès de la presse professionnelle, de votre syndicat et/ou de votre fournisseur de fluides frigorigènes.

Le règlement européen prévoit un contrôle des connaissances théoriques et pratiques des salariés. L'annexe du règlement ci-après stipule, en fonction des catégories, les connaissances théoriques (notées T) et pratiques (notées P) nécessaires.

Lors de ce contrôle des connaissances, chacun des groupes 1, 2, 3, 4, 5 et 10 est obligatoirement passé en revue. Par contre, uniquement l'un des groupes 6, 7, 8 ou 9 sera sélectionné sans que le salarié ne sache à l'avance lequel.

	T : Théorique *P : Pratique*	Catégories			
	COMPÉTENCES ET CONNAISSANCES	I	II	III	IV
1	**Thermodynamique élémentaire**				
1.01	Connaître les unités normalisées ISO pour la température, la pression, la masse, la densité et l'énergie	T	T	-	T
1.02	Comprendre la théorie élémentaire des systèmes de réfrigération : thermodynamique élémentaire (terminologie, paramètres et processus essentiels tels que " surchauffe ", " côté haute pression ", " chaleur de compression ", " enthalpie ", " effet de réfrigération ", " côté basse pression ", " sous-refroidissement "), propriétés et transformations thermodynamiques des fluides frigorigènes, y compris l'identification des mélanges zéotropiques et des états des fluides	T	T	-	-
1.03	Utiliser les tableaux et graphiques correspondants et les interpréter dans le cadre d'un contrôle d'étanchéité indirect (y compris le contrôle du bon fonctionnement du système) : diagramme log p/h, tables de saturation d'un fluide frigorigène, diagramme d'un cycle frigorifique simple à compression	T	T	-	-
1.04	Décrire la fonction des principales composantes du système (compresseur, évaporateur, condenseur, détendeurs thermostatiques) et les transformations thermodynamiques du fluide frigorigène		T	-	-
1.05	Connaître le fonctionnement élémentaire des composantes suivantes utilisées dans un système de réfrigération ainsi que leur rôle et leur importance dans la prévention et la détection des fuites de fluide frigorigène : a) valves (robinets à boule, diaphragmes, robinets à soupape) ; b) contrôles de la température et de la pression ; c) repères transparents et indicateurs d'humidité ; d) contrôles du dégivrage ; e) protecteurs du système ; f) instruments de mesure tels que les thermomètres ; g) systèmes de contrôle de l'huile ; h) réservoirs ; i) séparateurs de liquides et d'huile	T*	-	-	-
2	**Incidence sur l'environnement des fluides frigorigènes et réglementations correspondantes en matière d'environnement**				
2.01	Avoir une connaissance élémentaire du changement climatique et du protocole de Kyoto	T	T	T	T
2.02	Avoir une connaissance élémentaire du concept de « Potentiel de Réchauffement Planétaire » (PRP), de l'utilisation des gaz à effet de serre fluorés et d'autres substances en tant que fluides frigorigènes, de l'incidence des émissions de gaz à effet de serre fluorés sur le climat (ordre de grandeur de leur PRP) ainsi que des dispositions correspondantes du règlement (CE) no 842/2006 et des règlements portant application dudit règlement	T	T	T	T
3	**Contrôles à effectuer préalablement à la mise en service ou après une longue période d'interruption, un entretien ou une réparation, ou encore durant le fonctionnement**				
3.01	Effectuer une épreuve de pression pour contrôler la résistance du système				
3.02	Effectuer une épreuve de pression pour contrôler l'étanchéité du système				
3.03	Utiliser une pompe à vide	P*	P*	-	-
3.04	Faire le vide dans le système pour évacuer l'air et l'humidité selon la pratique habituelle				
3.05	Consigner les données dans le registre de l'équipement et rédiger un rapport portant sur un ou plusieurs des essais et des contrôles effectués durant l'examen	T	T	-	-

	T : Théorique *P : Pratique*	Catégories			
	COMPÉTENCES ET CONNAISSANCES	I	II	III	IV
4	**Contrôles d'étanchéité**				
4.01	Connaître les points de fuite potentiels des équipements de réfrigération, de climatisation et de pompes à chaleur.	T	T	-	T
4.02	Consulter le registre de l'équipement avant tout contrôle d'étanchéité et relever les informations pertinentes concernant des problèmes récurrents ou des parties problématiques du système nécessitant une attention particulière.	P	P	-	P
4.03	Effectuer un contrôle visuel et manuel de tout le système au sens du règlement (CE) n° 1516 / 2007 de la Commission du 19 décembre 2007.	P	P	-	P
4.04	Effectuer un contrôle de l'étanchéité du système au moyen d'une méthode indirecte conformément au règlement (CE) n°1516 / 2007 et du manuel d'utilisation du système	P	P	-	P
4.05	Utiliser des instruments de mesure portables tels que des manomètres, des thermomètres et des multimètres pour mesurer les volts, ampères et ohms en appliquant des méthodes indirectes de contrôle de l'étanchéité, et interpréter les paramètres mesurés.	P	P	-	P
4.06	Contrôler l'étanchéité du système au moyen d'une des méthodes directes visées au règlement (CE) n° 151 6 / 2007.	P	-	-	-
4.07	Contrôler l'étanchéité du système au moyen d'une des méthodes directes ne nécessitant pas d'intervenir dans le circuit de réfrigération et visées au règlement (CE) n° 1516 / 2007.P	P	P	-	P
4.08	Utiliser un dispositif électronique de détection des fuites.	P	P	-	P
4.09	Consigner les données dans le registre de l'équipement.	T	T	-	T
5	**Gestion écologique du système et du fluide frigorigène lors de l'installation, de l'entretien, de la réparation ou de la récupération**				
5.01	Connecter et déconnecter les jauges et lignes en produisant le minimum d'émissions	P	P	-	-
5.02	Vider et remplir un cylindre de fluide frigorigène à l'état liquide et à l'état gazeux	P	P	P	-
5.03	Utiliser un dispositif de récupération des fluides frigorigènes, connecter et déconnecter ce dispositif en produisant le minimum d'émissions	P	P	P	-
5.04	Vider l'huile contaminée par les gaz à effet de serre fluorés d'un système	P	P	P	-
5.05	Déterminer l'état (liquide, gazeux) et les conditions (sous-refroidi, saturé ou surchauffé) d'un fluide frigorigène avant tout remplissage afin de choisir la méthode et le volume de remplissage les plus adaptés. Remplir le système de fluide frigorigène (à l'état liquide et gazeux) sans provoquer de pertes	P	P	-	-
5.06	Utiliser une balance pour peser le fluide frigorigène	P	P	P	-
5.07	Consigner dans le registre de l'équipement toutes les informations pertinentes concernant le fluide frigorigène récupéré ou ajouté	T	T	-	-
5.08	Connaître les prescriptions et les procédures de gestion, de stockage et de transport des fluides frigorigènes et huiles contaminés	T	T	T	-
6	**Composant : installation, mise en service et entretien de compresseurs à piston alternatif, à vis et à spirales, à un ou deux étages**				
6.01	Expliquer le principe de fonctionnement d'un compresseur (y compris le réglage de la puissance et le circuit de lubrification) et les risques de fuite ou d'émission de fluide frigorigène qui y sont liés	T	T	-	-
6.02	Installer correctement un compresseur, y compris le matériel de contrôle et de sécurité, de telle sorte qu'aucune fuite ni aucune émission ne se produisent une fois le système en fonctionnement	P	-	-	-

T : Théorique P : Pratique		Catégories			
COMPÉTENCES ET CONNAISSANCES		I	II	III	IV
6.03	Régler les interrupteurs de sécurité et de contrôle		-	-	-
6.04	Régler les soupapes d'aspiration	P*	-	-	-
6.05	Vérifier le circuit de retour de l'huile		-	-	-
6.06	Mettre en marche et arrêter un compresseur et en vérifier le bon fonctionnement, y compris en effectuant des mesures durant son fonctionnement	P	-	-	-
6.07	Rédiger un rapport sur l'état du compresseur en indiquant tout problème de fonctionnement susceptible d'endommager le système et d'entraîner à terme, faute de mesure, des fuites ou des émissions de fluide frigorigène	T	-	-	-
7	**Composant : installation, mise en service et entretien de condenseurs à air froid et à eau froide**				
7.01	Expliquer le principe de fonctionnement d'un condenseur et les risques de fuite qui y sont associés	T	T	-	-
7.02	Mettre au point le régulateur de pression de sortie du condenseur	P	-	-	-
7.03	Installer correctement un condenseur, y compris le matériel de réglage et de sécurité, de telle sorte qu'aucune fuite ni aucune émission ne se produise une fois que le système fonctionnera	P	-	-	-
7.04	Régler les interrupteurs de sécurité et de contrôle	P*	-	-	-
7.05	Inspecter les conduites de refoulement et de liquide		-	-	-
7.06	Purger le condenseur pour en extraire les gaz non condensables à l'aide d'un appareil de purge pour système de réfrigération	P	-	-	-
7.07	Mettre en marche et arrêter un condenseur et en vérifier le bon fonctionnement, y compris en effectuant des mesures durant son fonctionnement	P	-	-	-
7.08	Inspecter la surface du condenseur	P	-	-	-
7.09	Rédiger un rapport sur l'état du condenseur en indiquant tout problème de fonctionnement susceptible d'endommager le système et d'entraîner à terme, faute de mesure, des fuites ou des émissions de fluide frigorigène	T	-	-	-
8	**Composant : installation, mise en service et entretien d'évaporateurs à air froid et à eau froide**				
8.01	Expliquer le principe de fonctionnement d'un évaporateur (y compris le système de dégivrage) et les risques de fuite qui y sont associés	T	T	-	-
8.02	Mettre au point un régulateur de pression d'évaporation de l'évaporateur	P	-	-	-
8.03	Installer correctement un évaporateur, y compris le matériel de contrôle et de sécurité, de telle sorte qu'aucune fuite ni aucune émission ne se produise une fois le système en fonctionnement	P	-	-	-
8.04	Régler les interrupteurs de sécurité et de contrôle		-	-	-
8.05	Vérifier que les conduites de liquide et d'aspiration sont dans la bonne position	P*	-	-	-
8.06	Inspecter le conduit de dégivrage à l'air chaud		-	-	-
8.07	Régler la soupape de régulation de la pression d'évaporation		-	-	-
8.08	Mettre en marche et arrêter un évaporateur et en vérifier le bon fonctionnement, y compris en effectuant des mesures durant son fonctionnement	P	-	-	-
8.09	Inspecter la surface de l'évaporateur	P	-	-	-
8.10	Rédiger un rapport sur l'état de l'évaporateur en indiquant tout problème de fonctionnement susceptible d'endommager le système et d'entraîner à terme, faute de mesure, des fuites ou des émissions de fluide frigorigène	T	-	-	-

T : Théorique P : Pratique		Catégories			
COMPÉTENCES ET CONNAISSANCES		I	II	III	IV
9	**Composant : installation, mise en service et réparation des détendeurs thermostatiques et autres composants**				
9.01	Expliquer le principe de fonctionnement de différents types de vannes d'expansion (détendeurs thermostatiques, tubes capillaires) et les risques de fuite qui y sont liés	T	T	-	-
9.02	Installer des vannes dans la bonne position	P	-	-	-
9.03	Régler un détendeur thermostatique mécanique/électronique		-	-	-
9.04	Régler des thermostats mécaniques et électroniques	P*	-	-	-
9.05	Régler la soupape de régulation de la pression		-	-	-
9.06	Régler des limiteurs de pression mécaniques et électroniques		-	-	-
9.07	Vérifier le fonctionnement d'un séparateur d'huile	P*	-	-	-
9.08	Vérifier l'état d'un filtre sécheur		-	-	-
9.09	Rédiger un rapport sur l'état de ces composants en indiquant tout problème de fonctionnement susceptible d'endommager le système et d'entraîner à terme, faute de mesure, des fuites ou des émissions de fluide frigorigène	T	-	-	-
10	**Tuyauterie : monter un réseau de tuyauterie étanche dans une installation de réfrigération**				
10.01	Soudage, brasage fort et/ou brasage tendre des joints étanches sur des tubes et des tuyaux métalliques pouvant être utilisés dans des systèmes de réfrigération, de climatisation et de pompes à chaleur	P	P	-	-
10.02	Fabriquer/vérifier des supports de tuyaux et de composants	P	P	-	-

Lorsque la lettre P ou T est suivie d'un astérisque, l'évaluateur choisit la compétence ou connaissance à évaluer.

D) Durée des épreuves.

La durée des épreuves théoriques et pratiques varie selon les catégories mentionnées *page 426*.

	DURÉE DE L'ÉPREUVE théorique par candidat	DURÉE DE L'ÉPREUVE pratique par candidat	DURÉE TOTALE de l'évaluation
Catégorie I	1 heure	2,5 heures	3,5 heures
Catégorie II	1 heure	1,5 heure	2,5 heures
Catégorie III	0,5 heure	1 heure	1,5 heure
Catégorie IV	0,5 heure	1 heure	1,5 heure

Bases du Froid

EXERCICE

HP	↗
BP	↗
Surchauffe	↗
Sous refroidissement	↗

En fonction de ce tableau de tendance, combien relevez-vous d'erreurs flagrantes dans le cas :
01. D'un manque de charge en fluide
02. D'un condenseur trop petit
03. D'un détendeur trop petit
04. D'un évaporateur trop petit.

HP	↘
BP	↘
Surchauffe	↘
Sous refroidissement	↘

En fonction de cet autre tableau de tendance, combien relevez-vous d'erreurs flagrantes dans le cas :
05. D'un compresseur trop petit
06. D'un excès de charge en fluide
07. D'une prédétente
08. D'un manque de charge en fluide.

HP	↘
BP	↗
Surchauffe	↘
Sous refroidissement	↗

Et avec ce nouveau tableau de tendance, combien relevez-vous d'erreurs flagrantes dans le cas :
09. D'un évaporateur trop petit.
10. D'un condenseur trop petit
11. D'un détendeur trop petit
12. D'un manque de charge en fluide

HP	↗
BP	↗
Surchauffe	↘
Sous refroidissement	↗

Et selon de dernier tableau de tendance, combien relevez-vous d'erreurs flagrantes dans le cas :
13. D'un compresseur trop petit
14. D'un excès de charge en fluide
15. D'une prédétente
16. D'un manque de charge en fluide.

01. Manque de charge en fluide : 3 erreurs (HP faible, BP faible, S/R faible).
02. Condenseur trop petit : 2 erreurs (surchauffe faible, S/R faible).
03. Détendeur trop petit : 2 erreurs (HP faible, BP faible).
04. Évaporateur trop petit : 3 erreurs (HP faible, BP faible, surchauffe faible).
05. Compresseur trop petit : 3 erreurs (BP élevée, surchauffe légèrement élevée, S/R correct).
06. Excès de charge en fluide : 3 erreurs (HP élevée, BP élevée, S/R élevé).
07. Prédétente : 2 erreurs (surchauffe élevée, S/R correct).
08. Manque de charge en fluide : 1 erreur (surchauffe élevée).
09. Évaporateur trop petit : 1 erreur (BP faible).
10. Condenseur trop petit : 2 erreurs (HP élevée, S/R faible).
11. Détendeur trop petit : 2 erreurs (BP faible, surchauffe élevée).
12. Manque de charge en fluide : 3 erreurs (BP faible, surchauffe élevée, S/R faible).
13. Compresseur trop petit : 3 erreurs (HP faible, surchauffe légèrement élevée, S/R correct).
14. Excès d'incondensables : 0 erreur (tout est exact).
15. Prédétente : 3 erreurs (HP faible, BP faible, surchauffe élevée).
16. Manque de charge en fluide : 4 erreurs (HP faible, BP élevée, surchauffe élevée, S/R faible).

Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

ÉTUDE D'UN CIRCUIT HYDRAULIQUE ENTRE UN CHÂTEAU D'EAU ET DES LAVABOS

Maintenant que vous savez comment fonctionnent les climatiseurs réversibles, nous allons pouvoir nous attaquer aux pompes à chaleur conçues pour fournir le plus économiquement possible de l'eau chaude en puisant la chaleur soit dans l'air extérieur (on parle alors de PAC de type aérothermiques), soit dans le sol ou dans une nappe phréatique (PAC géothermiques).



Nous prendrons comme support les équipements de la villa ci-contre afin de comprendre le plus simplement possible les règles de base de l'hydraulique.

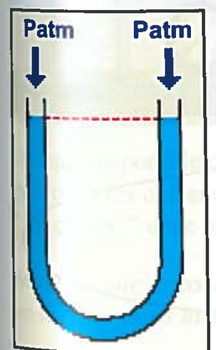
Pour commencer, nous allons voir comment s'effectue la distribution de l'eau potable entre le château d'eau et la villa.



A propos Alexis, tu as sûrement remarqué que les châteaux d'eau sont installés sur les hauteurs, par exemple sur une colline, mais toujours au-dessus des villages qu'ils alimentent. Sais-tu pourquoi ?



Je pense que c'est un problème de vases communicants. Si le château d'eau était placé en dessous des maisons, comment ferait l'eau pour arriver aux robinets ?



Alexis a parfaitement raison.

Si vous versez du liquide, dans un tube en U mis à l'air libre, la pression atmosphérique applique exactement la même force sur la surface libre du liquide dans chacune des 2 branches du tube.

C'est pourquoi le niveau du liquide est strictement identique dans chacune des 2 branches : c'est la loi des vases communicants…

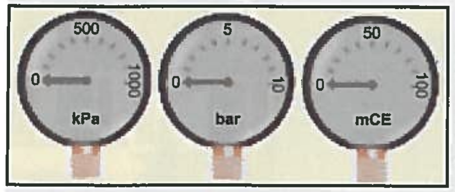
De plus, rappelez-vous ce que nous avons déjà vu *pages 32 et 219* : la pression de l'eau qui s'exerce sur un plongeur dépend de sa profondeur d'immersion. Plus il descend profondément dans l'eau et plus la pression **P** que l'eau exerce sur lui augmente.



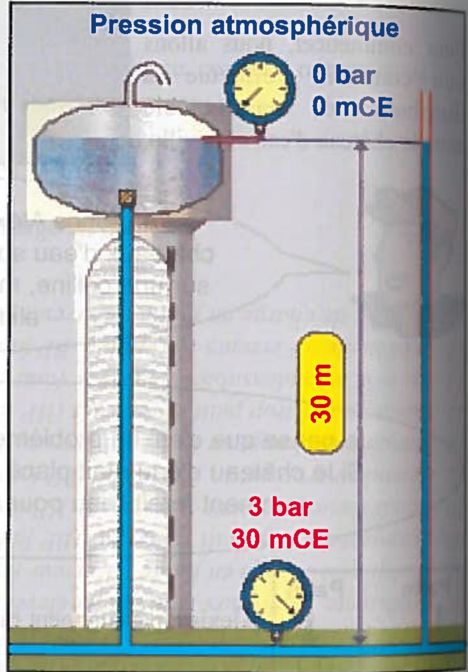
Tous les 10 mètres de profondeur, la pression de l'eau augmente d'environ 1 bar (soit 10 mCE ou 100 kPa).

Le bar n'est pas une unité de pression très utilisée en hydraulique. Alors, profitons-en pour rappeler que l'unité légale de pression est le Pascal (Pa). C'est une unité très petite puisque la pression atmosphérique (1 atm) = 100 000 Pa.

C'est pourquoi on utilise souvent son multiple le kilopascal (kPa), avec 1 atm = 1 bar = 100 kPa = 10 mCE (mètre de colonne d'eau).



Au passage, rappelons qu'un manomètre bien étalonné doit indiquer zéro à la pression atmosphérique.

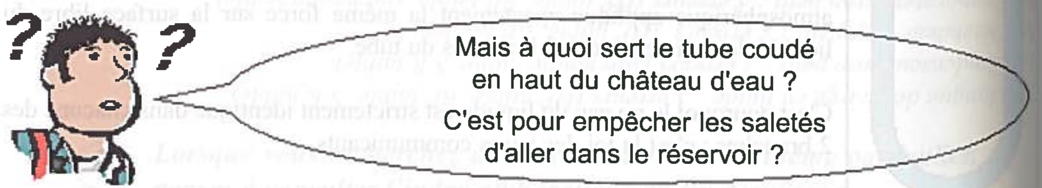


Si la pression mesurée à un endroit quelconque est par exemple de 3 bar, elle correspond à une colonne d'eau dont la hauteur est de 30 m.

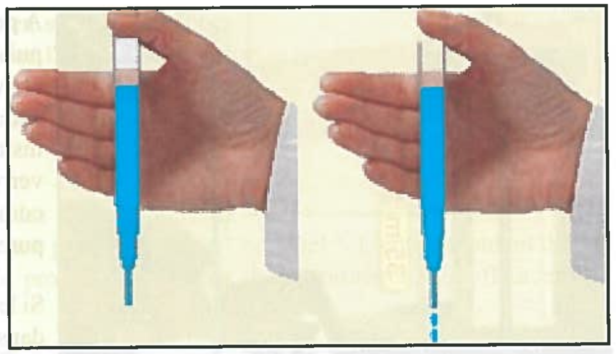
Si le niveau de l'eau dans le réservoir du château d'eau s'élève 30 m au-dessus du sol, la pression dans le tube en bas du château est alors égale à 3 bar, soit 30 mCE ou 300 kPa.

Admettons que l'on raccorde un tube en verre comme représenté ci-contre. La pression en bas du tube étant de 3 bar, elle ferait monter l'eau dans le tube en verre d'une hauteur de 30 m.

Le raccordement de ce tube en verre par rapport au réservoir du château d'eau serait identique à un énorme tube en U dont chacune des 2 branches serait soumise à la pression atmosphérique.



Pour répondre à Alexis, observez la pipette ci-contre.

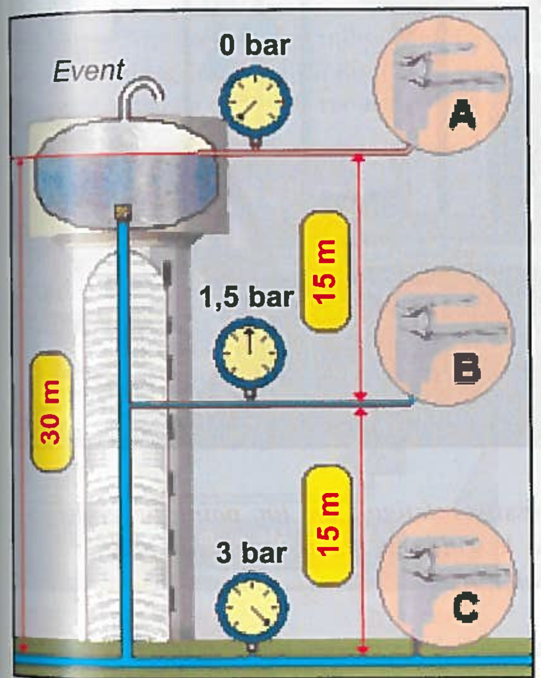


Tant que l'on bouche l'extrémité du tube avec le doigt, rien ne coule. Par contre, si l'on soulève le pouce pour provoquer une prise d'air, le liquide s'écoule d'autant plus librement que la prise d'air est importante (cette expérience est facile à réaliser avec un verre de soda et une paille).

Pour notre château d'eau (qui ressemble à une pipette géante), c'est exactement le même principe : s'il n'y avait pas la mise à l'air libre en haut du réservoir (qu'on appelle un évent), l'eau ne pourrait pas circuler librement dans les canalisations qui partent alimenter les maisons.

Nous avons vu qu'une colonne d'eau permet d'obtenir une pression d'environ 1 bar tous les 10 m de hauteur. Cette pression obtenue, même avec de l'eau immobile, est appelée " pression statique ".

Notre petit réseau hydraulique est équipé d'un réservoir placé en hauteur. Cette hauteur d'eau est un potentiel d'énergie (ce principe est à la base du fonctionnement des barrages hydrauliques).



La pression statique obtenue grâce à la réserve d'eau placée en hauteur est également appelée la " charge ".

Au point A, la pression est de 0 bar et le robinet n'est donc pas " en charge " : quand on l'ouvrira, l'eau ne pourra pas couler.

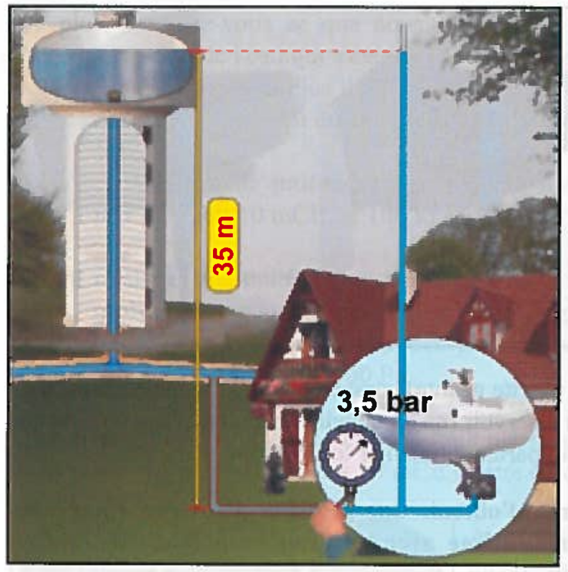
Au point B, le robinet est " en charge " et la pression statique disponible est de 1,5 bar. Quand on ouvrira le robinet, on obtiendra un certain débit.

Au point C, le robinet est également " en charge " mais la pression statique disponible est de 3 bar. Quand on ouvrira le robinet, le débit obtenu sera plus important qu'en **B** : **Plus la pression statique est élevée et plus le débit de l'eau sera important.**

Ainsi, pour que l'eau puisse s'écouler lorsqu'on ouvre un robinet, celui-ci doit être " en charge ". Comme nous venons de le voir, plus la pression statique disponible est importante et plus le débit d'eau que l'on pourra obtenir sera important. C'est pourquoi les châteaux d'eau sont installés sur les hauteurs afin que les maisons à desservir soient " en charge " avec une pression statique suffisante pour permettre un débit convenable.

Notez qu'une pression de 3 bar est une pression moyenne généralement satisfaisante pour obtenir un débit correct aux points de puisage dans les habitations.

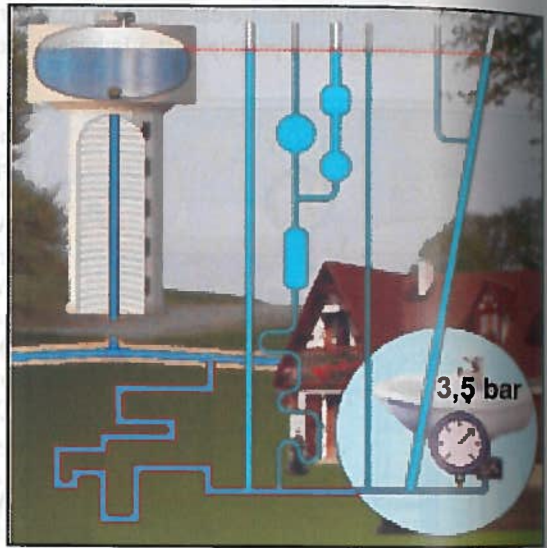
Hydraulique



A présent, regardez le schéma ci-contre. L'eau puisée dans le réservoir du château d'eau arrive dans notre villa par l'intermédiaire d'un réseau de tuyauteries. Admettons que l'on installe un manomètre ainsi qu'un tube en verre sur l'arrivée d'eau froide d'un lavabo, comme symbolisé ci-contre (c'est bien sûr purement théorique).

Si le dénivelé entre le lavabo et le niveau d'eau dans le réservoir est par exemple de 35 m, nous savons à présent que le manomètre indiquera 3,5 bar. De même, conformément au principe des vases communicants, l'eau montera dans le tube en verre pour atteindre le même niveau que l'eau dans le réservoir, c'est-à-dire 35 m plus haut.

Observez cet autre schéma ci-contre.



Sur la même installation, nous avons rallongé la tuyauterie d'alimentation en eau du lavabo et installé de nombreux tubes en verre avec des formes et des diamètres différents, tous soumis à la pression atmosphérique.

Tant que le robinet du lavabo reste fermé, il n'y a pas de débit d'eau dans la canalisation et le manomètre continue d'indiquer 3,5 bar.

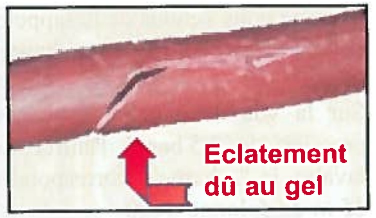
Rappelons que cette pression obtenue, est appelée " pression statique ".

Comme précédemment, le niveau de l'eau est rigoureusement identique dans chacun des tubes en verre, quel que soit leur diamètre et leur forme.

L'eau étant immobile, la pression statique en un point dépend uniquement de la hauteur de la colonne d'eau, quel que soit le diamètre et la forme de cette colonne.



Il serait bien sûr inconcevable de laisser en surface des tubes contenant de l'eau, principalement parce que l'eau gèle à 0°C ! Le gel pourrait provoquer l'éclatement des tuyaux à cause de l'augmentation de volume qui se produit lorsque l'eau se transforme en glace.

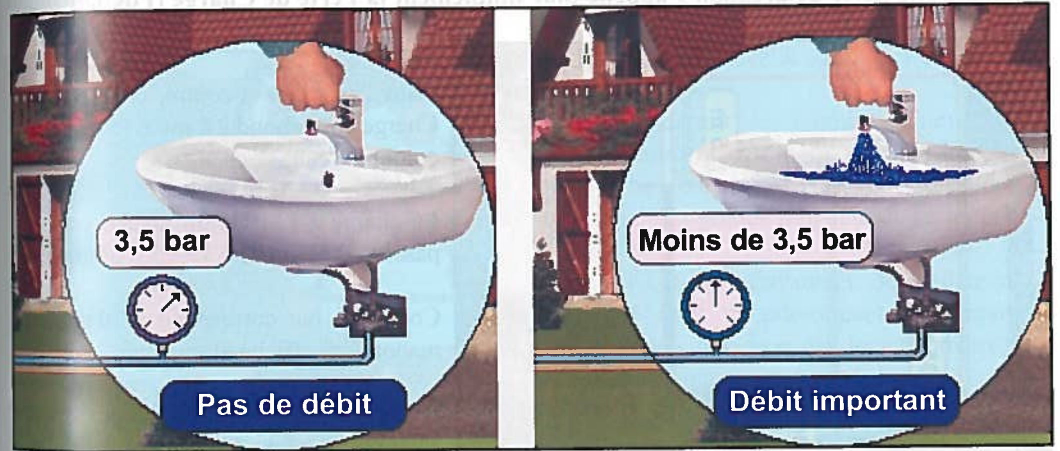


C'est pourquoi, sous nos climats, toutes les canalisations de distribution d'eau potable sont enterrées à une profondeur dite " hors gel ". L'enfouissement de ces tubes, bien souvent à plus d'un mètre de profondeur, permet de les protéger très efficacement contre les risques liés au froid.





En effet, la pression statique (c'est-à-dire la pression exercée par une hauteur de colonne d'eau) met " en charge " les robinets des utilisateurs. Le robinet ci-dessous étant fermé et " en charge ", une pression statique de 3,5 bar est disponible pour alimenter le lavabo. C'est ce qui permettra à l'eau de couler quand on ouvrira le robinet.

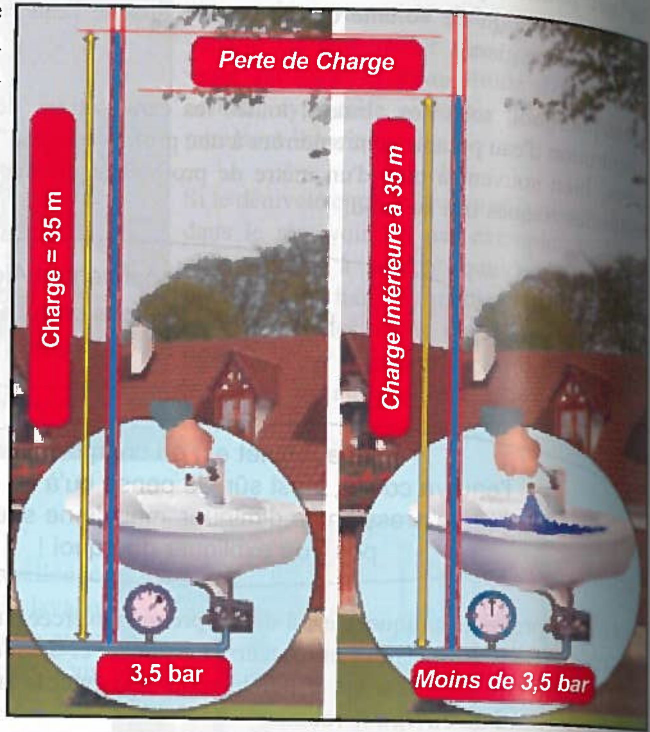


Cependant, rappelez-vous les causes du phénomène de prédétente sur le fluide frigorigène liquide dont nous avons parlé *pages 217 à 220* : quand un fluide quelconque (eau, air, vapeur, fluide frigorigène, etc.) circule dans une canalisation, il perd une partie de son énergie à cause des frottements sur les parois plus ou moins rugueuses des tubes (cuivre, acier, PVC, etc.) et des accidents rencontrés (coudes, vannes, clapets, filtres, etc.).

C'est pourquoi, dès qu'on ouvre le robinet, l'eau est mise en circulation et la pression affichée par le manomètre diminue.

Comme nous venons de le rappeler, la pression statique est la pression exercée par une hauteur de colonne d'eau qui met " en charge " les robinets des utilisateurs.

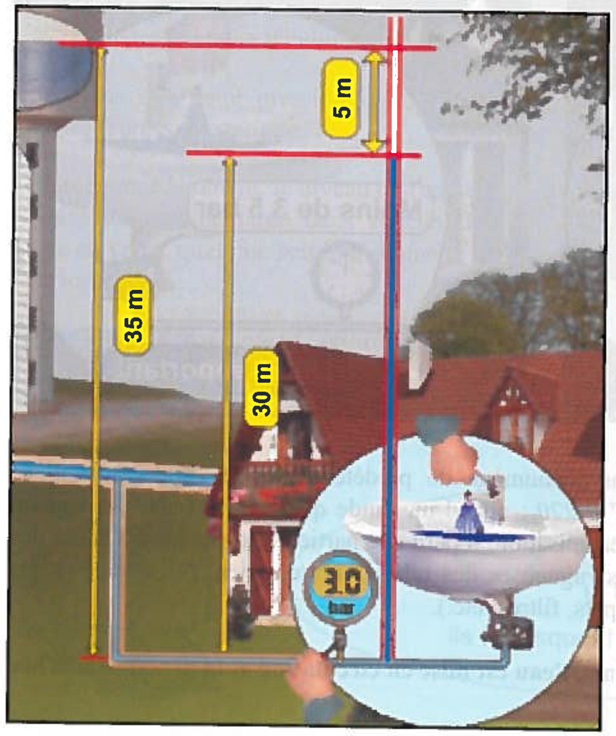
Sur la vue de gauche, avec une pression de 3,5 bar à l'entrée du lavabo, la " charge " correspond à 35 m de colonne d'eau.



Quand on a ouvert le robinet, l'eau s'est mise en mouvement et elle a perdu une partie de son énergie à cause des frottements sur les parois rugueuses des tubes et en franchissant les multiples accidents rencontrés (il y a des coudes, des vannes, etc.).

C'est pourquoi la pression devient inférieure à 3,5 bar sur la vue de droite, ce qui implique que la " charge " correspondante devient inférieure à 35 m.

Ainsi, la mise en circulation de l'eau provoque une diminution de la " charge " à l'entrée du lavabo. Cette perte de pression s'appelle tout simplement la Perte de Charge (PdC).



Dans l'exemple ci-contre, cette Perte de Charge correspond à 5 mCE (5 mètres de colonne d'eau).

La charge à l'entrée du lavabo est donc passée de 35 mCE à 35 - 5 = 30 mCE.

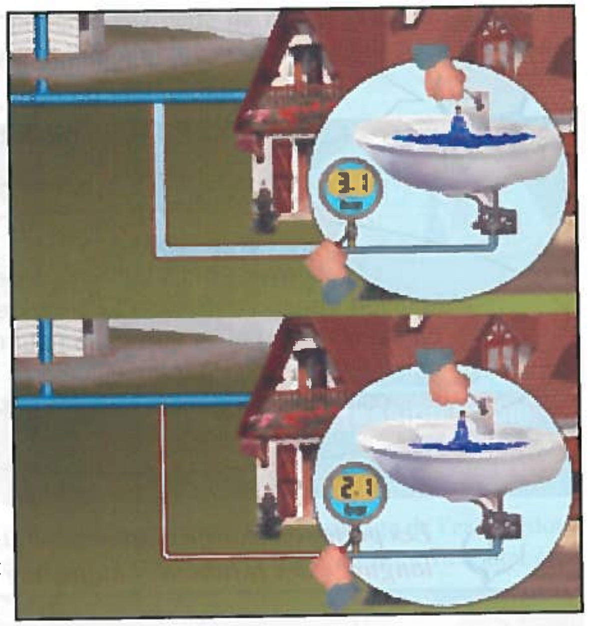
Comme 1 bar correspond à 10 mCE, le manomètre affiche alors 3 bar.

Si l'eau est immobile, nous avons vu qu'il n'y a pas de perte de charge. Quand l'eau se met en mouvement, les frottements sur les parois des tubes et les accidents rencontrés (Tés, coudes, vannes, filtre, etc.) provoquent des pertes de charge.

On peut en conclure que plus il y a de débit d'eau et plus il y a de pertes de charge.

De même que plus une route est large et plus la circulation est facile, si on augmente le diamètre des canalisations l'eau peut circuler beaucoup plus facilement et les frottements, et donc les pertes de charge, diminuent.

C'est pourquoi, ayant installé ci-contre du tube de plus gros diamètre, les frottements et les PdC ont diminué.



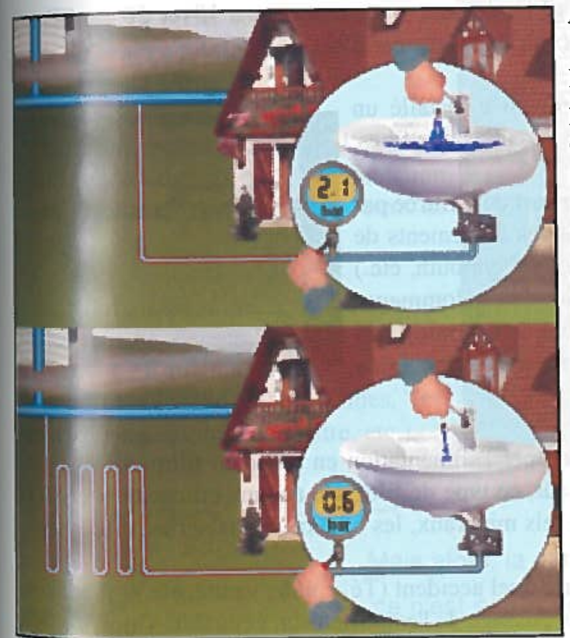
Le manomètre indique alors par exemple 3,1 bar au lieu de 3,0 bar précédemment et la PdC devient égale à 3,5 - 3,1 = 0,4 bar au lieu de 0,5 bar.

A l'inverse, si on diminue le diamètre du tube qui alimente le lavabo, l'eau circule plus difficilement, les frottements s'intensifient et les PdC augmentent.

Dans l'exemple, le manomètre indique alors 2,1 bar, soit une perte de charge de 3,5 - 2,1 = 1,4 bar.

Avec une pression plus faible à l'entrée du lavabo, la " charge " est réduite et le débit d'eau devient obligatoirement plus faible.

Rappelez-vous que plus on diminue le diamètre des tubes et plus les pertes de charge augmentent.



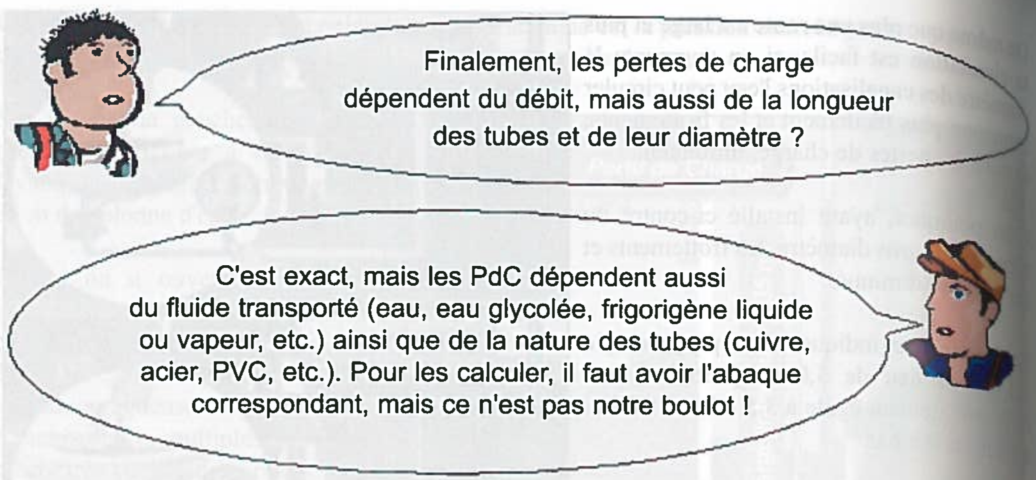
A présent, observez le schéma ci-contre.

En conservant le même diamètre que précédemment, si on augmente la longueur des tubes, les frottements vont se produire sur une plus grande longueur de tuyauterie.

Puisqu'il y aura davantage de frottements, les PdC vont obligatoirement augmenter et la pression indiquée par le manomètre va encore diminuer.

Cette fois encore, la pression étant plus faible à l'entrée du lavabo, la " charge " sera réduite et le débit d'eau sera obligatoirement plus faible.

Ainsi, plus on augmente la longueur des tuyauteries et plus les pertes de charge augmentent.

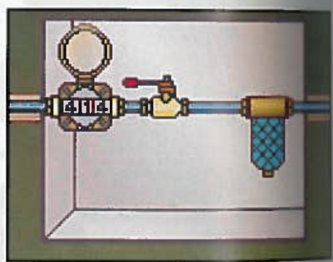


Les pertes de charge augmentent quand le débit augmente, quand la longueur des tuyauteries augmente et quand leur diamètre diminue.

A NOTER : sachez que les PdC engendrent des bruits dans les tuyauteries, surtout dans les restrictions comme les vannes et les clapets. Ces bruits parasites augmentent avec la vitesse de l'eau et peuvent devenir très gênants lorsque les tubes traversent des locaux habités. C'est pourquoi le diamètre des tubes doit respecter des vitesses maximales selon le débit à véhiculer.

Par exemple, dans un circuit de chauffage, on admet généralement une vitesse maximale de 0,5 m/s pour du tube de 15 / 21 et de 1,2 m/s pour du tube de 80 / 90. Mais, plus le diamètre des tubes est important et plus ils coûtent cher. C'est pourquoi, sauf cas particulier, on calcule le diamètre des tubes pour obtenir des PdC raisonnables, généralement comprises entre 10 et 20 mmCE (au grand maximum) par mètre linéaire de tube (voir *abaque page 592*).

A l'entrée de la villa, protégé par un regard, on a installé un compteur d'eau, une vanne d'arrêt et un filtre à mailles très fines.

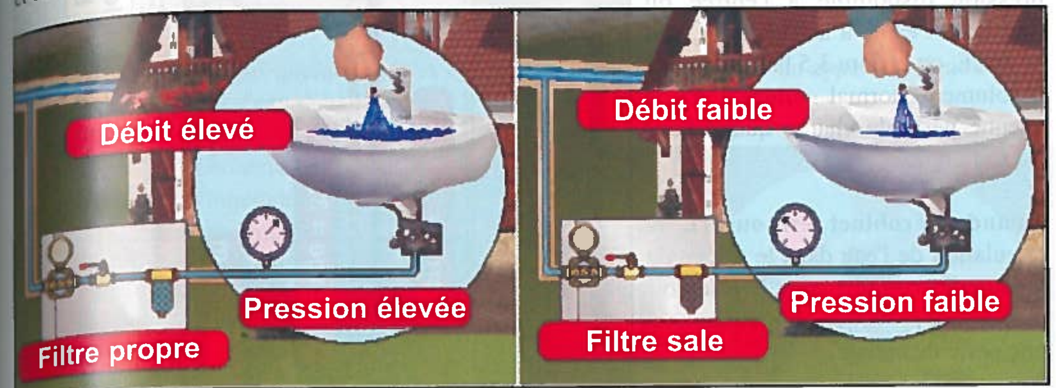


Bien sûr, l'eau potable délivrée aux utilisateurs est déjà filtrée par le concessionnaire de distribution d'eau, mais les frottements de l'eau dans les tuyauteries (en béton, en fonte, en Plymouth, etc.) libèrent des microparticules qui peuvent à la longue endommager les sièges des robinets et des vannes (par exemple, les mitigeurs actuels à siège en céramique sont très précis, mais également très sensibles).

C'est pourquoi il n'est parfois pas inutile d'équiper l'alimentation en eau d'un filtre efficace pour piéger les particules jusqu'à 5 microns. Bien sûr, ce type de filtre n'a aucune efficacité sur tout ce qui est dissous dans l'eau comme les gaz, les sels minéraux, les odeurs, les bactéries, etc.

Un filtre se comporte comme le ferait n'importe quel accident (Té, coude, vanne, etc.) : il crée une opposition, c'est-à-dire une Perte de Charge au passage de l'eau. Bien sûr, cette PdC s'ajoute à celle des tubes. Aussi, si on installe un filtre, son diamètre doit être sélectionné afin de présenter une faible perte de charge qui réduira le moins possible le débit.

Un filtre propre et largement dimensionné présente une perte de charge presque négligeable, parfois difficilement mesurable. C'est pourquoi la PdC du filtre ayant peu d'influence, la pression et donc le débit restent très corrects.



Par contre, au fur et à mesure de l'encrassage du filtre, son opposition au passage de l'eau, et donc sa perte de charge, vont augmenter. En conséquence, la pression à la sortie du filtre va chuter et le débit d'eau va donc diminuer.

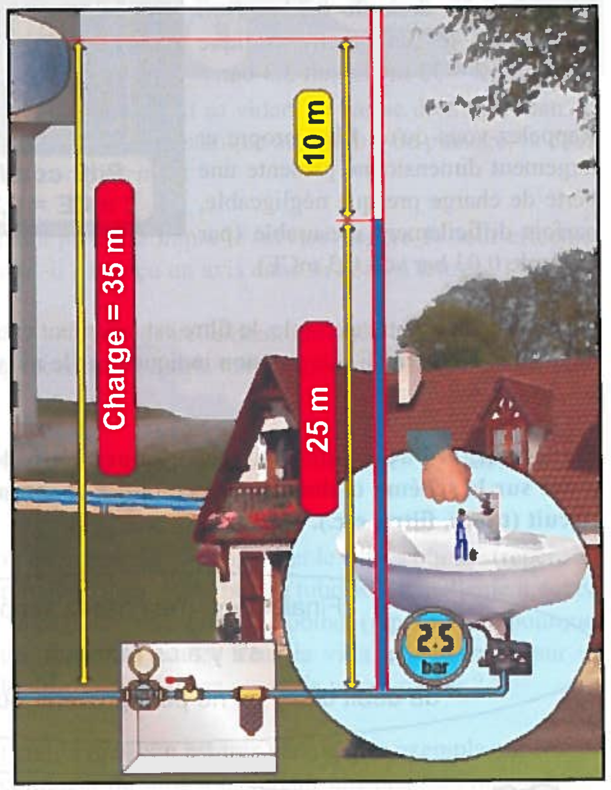
Nous savons que la charge disponible créée par le dénivelé entre le réservoir et le lavabo est de 35 mCE.

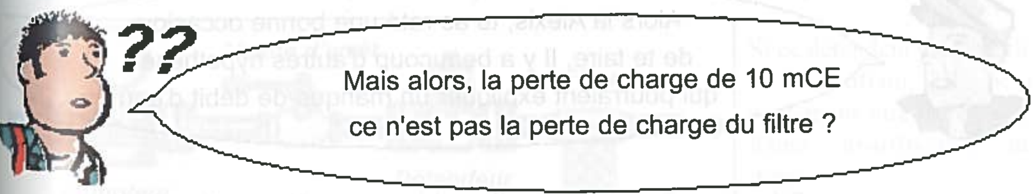
Le filtre étant encrassé, imaginons que la charge à l'entrée du lavabo ne soit plus que de 25 mCE.

La cote de 10 mCE représente donc la perte de charge totale entre le réservoir et la sortie du filtre.

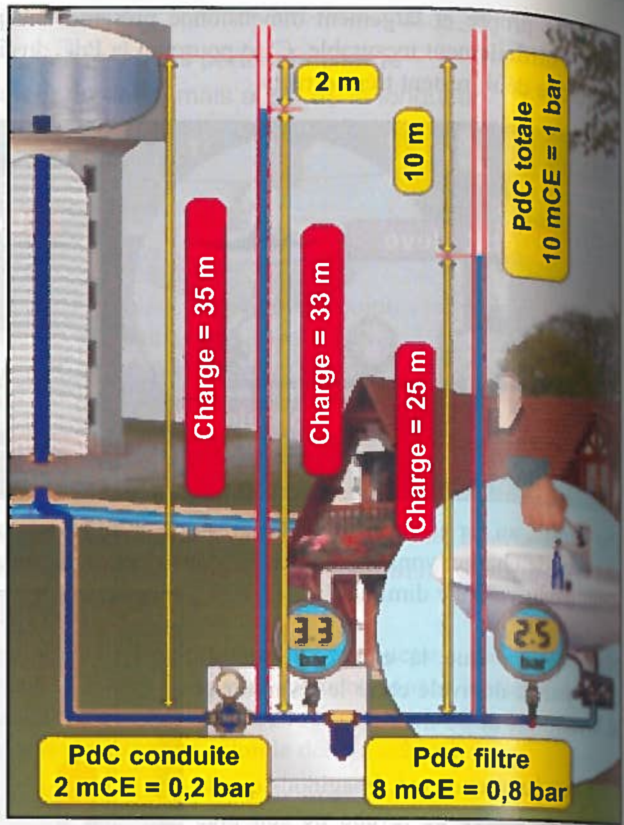
En effet, comprenez bien que s'il n'y avait aucune perte de charge sur l'alimentation du lavabo, la charge disponible serait de 35 mCE.

C'est pourquoi les 10 mCE représentent la PdC totale de l'ensemble des éléments permettant d'amener l'eau entre le réservoir et le lavabo (tubes, coudes, Tés, vannes diverses, compteur, filtre, etc.).





Essayons de répondre à Alexis.



Quand le robinet est fermé, la pression disponible à l'entrée du lavabo est égale à la " charge ", soit 35 mCE, ou encore 3,5 bar, ce qui est absolument normal puisqu'il n'y a aucune perte de charge quand l'eau est immobile.

Quand le robinet est ouvert, la circulation de l'eau dans le réseau de tuyauteries compris entre le réservoir et le regard provoque obligatoirement une perte de charge.

Admettons que cette PdC soit de 0,2 bar. La pression à l'entrée du filtre diminue donc de 0,2 bar (soit 2 mCE) et le manomètre indique alors 35 - 2 = 33 mCE, soit 3,3 bar.

Rappelez-vous qu'un filtre propre et largement dimensionné présente une perte de charge presque négligeable, parfois difficilement mesurable (par exemple 0,03 bar soit 0,3 mCE).

Par contre, dans notre exemple, le filtre est tellement encrassé qu'il occasionne une importante PdC de 0,8 bar, soit 8 mCE. La pression indiquée par le manomètre placé après le filtre est donc égale à 3,3 - 0,8 = 2,5 bar

En résumé, la PdC totale du circuit compris entre le réservoir et le lavabo (colorié en bleu foncé sur le schéma ci-dessus) correspond à la somme des PdC des éléments constituant ce circuit (tubes, filtre, etc.).



Finalement, c'est assez simple :
s'il y a un manque
de débit d'eau ça ne peut provenir que du filtre !

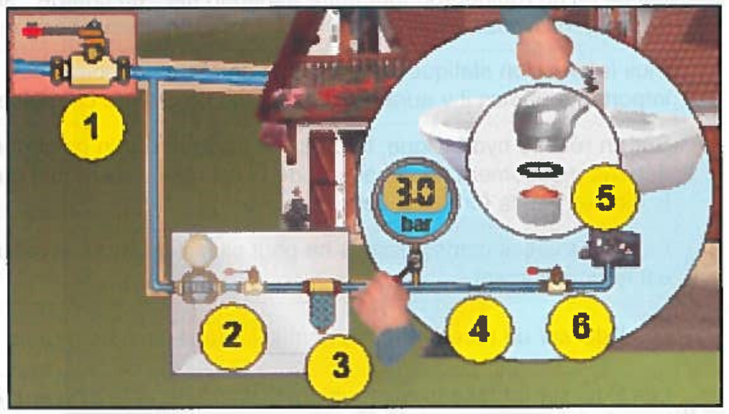


Alors là Alexis, tu as raté une bonne occasion
de te taire. Il y a beaucoup d'autres hypothèses
qui pourraient expliquer un manque de débit d'eau !

Selon vous, à quelles autres hypothèses pense Nicolas ?

Bien sûr, le filtre placé après le compteur du client peut-se colmater. Cependant, ce type de panne ne se produit pas brutalement, il faut un certain temps, plusieurs semaines, voire plusieurs mois. Au fur et à mesure de ce colmatage, le débit d'eau va diminuer jusqu'au jour où le client va vous appeler pour un dépannage.

A ce moment, examinons quelques autres hypothèses pouvant provoquer un appel du client à cause d'un manque de débit d'eau dans la villa.



Le château d'eau alimente un certain nombre de logements. Au fur et à mesure que les habitants utilisent de l'eau, le niveau diminue dans le réservoir.

Un circuit hydraulique spécial (dont nous allons parler dans le chapitre suivant) permet alors de l'alimenter. Dans le cas très exceptionnel d'une grosse panne sur ce réseau d'alimentation du réservoir en eau, le château d'eau pourrait se vider. La baisse de niveau dans le réservoir provoquerait alors une diminution de la pression statique aux points de puisage, le débit diminuerait progressivement jusqu'à s'arrêter complètement.

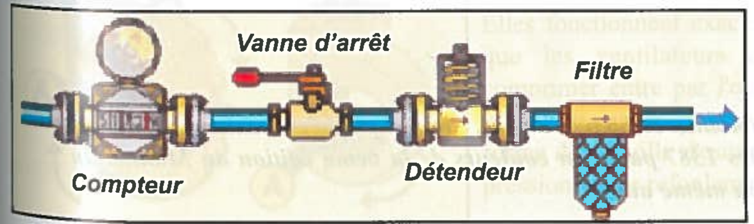
Bien sûr, la Compagnie des Eaux a également pu interrompre le service (repère **1**) pour effectuer des travaux sur le réseau (votre client n'aurait-il pas reçu un avis dans sa boite à lettres ?).

Il peut également arriver qu'une conduite soit accidentellement arrachée ou brisée par une tractopelle lors de travaux sur un chantier quelconque et que la majeure partie de l'eau s'écoule dans le sol au lieu d'arriver aux lavabos.

N'oublions pas qu'il est également possible que le client ait oublié de payer ses factures à la compagnie des eaux, laquelle aurait interrompu le service.

A part la vanne de tête (repère **2**) fermée ou étranglée dans le regard et le filtre colmaté (repère **3**), la panne du manque de débit pourrait s'expliquer par exemple par un tube accidentellement écrasé (repère **4**), par l'entartrage sévère du petit filtre placé à la sortie du robinet (repère **5**) ou pourquoi pas par une vanne d'isolement quelconque (repère **6**) placée dans la villa, par exemple sur un traitement d'eau (le client n'a-t-il pas " bidouillé " l'installation avant de vous appeler ?

A NOTER : sur certaines installations, quand la pression est très élevée (par exemple supérieure à 6 bar) on installe un détendeur après le compteur de sorte à maintenir une pression raisonnable.



Si ce détendeur est déréglé ou défaillant, il peut également être à l'origine d'une insuffisance de débit.

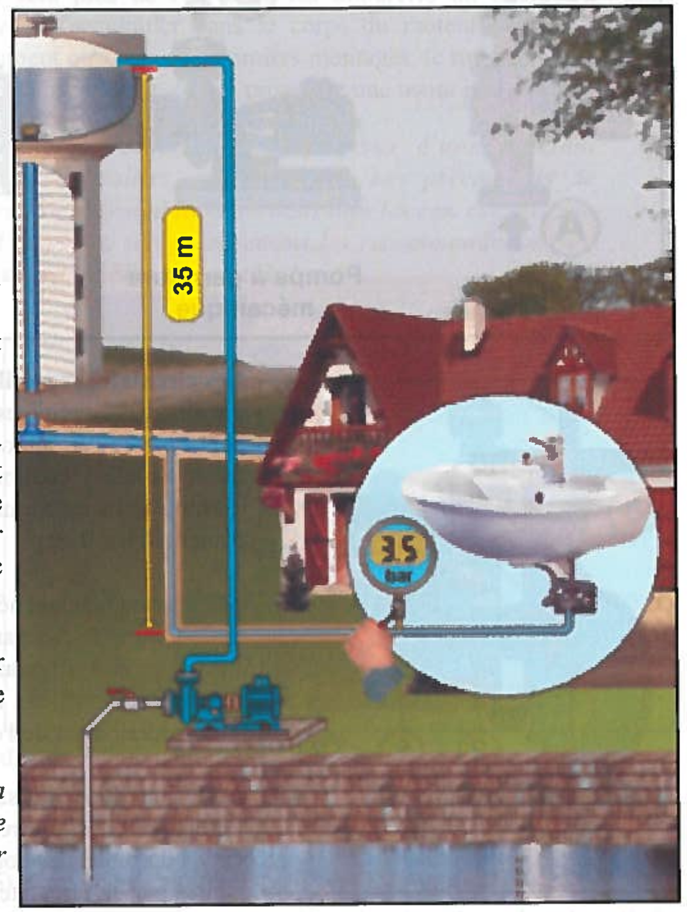
	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°29 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX
1	1 atmosphère = 1 bar = 10 mCE = 1000 kPa		
2	Sur le château d'eau, si l'évent était bouché, l'eau ne pourrait plus circuler librement dans les canalisations		
3	On dit qu'un robinet (ou tout autre appareil) est " en charge " si la pression qu'il subit est supérieure à la pression atmosphérique		
4	Plus la pression statique disponible à l'entrée d'un robinet est importante et plus il y aura de débit quand on ouvrira ce robinet		
5	Sur un réseau hydraulique, la pression statique en un point donné dépend uniquement de la hauteur de la colonne d'eau, quel que soit le diamètre et la forme de cette colonne		
6	La loi des vases communicants ne peut plus s'appliquer si l'eau est en mouvement		
7	Les PdC sur un réseau augmentent si le débit diminue		
8	Les PdC sur un réseau augmentent si diamètre et la longueur des tuyauteries augmentent		
9	Finalement, les PdC dépendent exclusivement du débit, de la longueur des tuyauteries, de leur diamètre et de leur nature (cuivre, acier, etc.)		
10	On admet généralement que les PdC d'un réseau hydraulique ne doivent pas dépasser 20 mmCE par mètre linéaire de tube		

CORRIGÉ DE L'EXERCICE — VRAI / FAUX

1 : Faux, ce n'est pas mille kPa mais cent kPa. - 2 : Vrai L'évent permet de mettre le réservoir à la pression atmosphérique afin que le principe des vases communicants puisse s'appliquer. - 3 : Vrai - 4 : Vrai A la limite, s'il n'y a pas de pression du tout rien ne coule lorsqu'on ouvre le robinet. - 5 : Faux, cette affirmation n'est exacte que si l'eau est immobile car il n'y a alors aucune perte de charge. - 6: Vrai - 7 : Faux, c'est l'inverse - 8 : Faux, Les PdC augmentent bien si la longueur des tuyauteries augmente mais elles diminuent si le diamètre de ces tuyauteries augmente. - 9 : Faux, les PdC dépendent également du fluide transporté (eau, fluide frigorigène, vapeur, etc). - 10 : Vrai.

Toutes ces notions, et bien d'autres, sont expliquées beaucoup plus en détails dans les 1387 pages en couleurs de la 6ème édition du Manuel du Dépanneur, du même auteur.

LE CIRCUIT HYDRAULIQUE DE REMPLISSAGE DU CHÂTEAU D'EAU



Nous avons vu que la pression mesurée dans une conduite est appelée pression statique. C'est cette pression exercée par une hauteur de colonne d'eau qui permet d'obtenir du débit aux robinets des utilisateurs.

Dans l'exemple ci-contre, la pression statique disponible au lavabo correspond à 35 mCE, soit 3,5 bar.

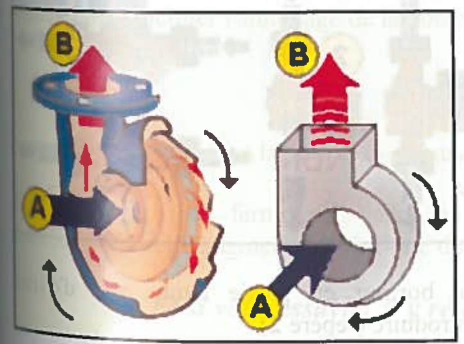
Il est bien évident qu'au fur et à mesure que les utilisateurs vont soutirer de l'eau sur le réseau, le réservoir du château d'eau va avoir tendance à se vider. Il faudra donc le remplir régulièrement.

Admettons que l'on désire remplir le réservoir avec l'eau de la rivière qui passe à proximité.

On comprend facilement que la pompe utilisée doit être capable de " monter " l'eau dans le réservoir situé 35 m plus haut.

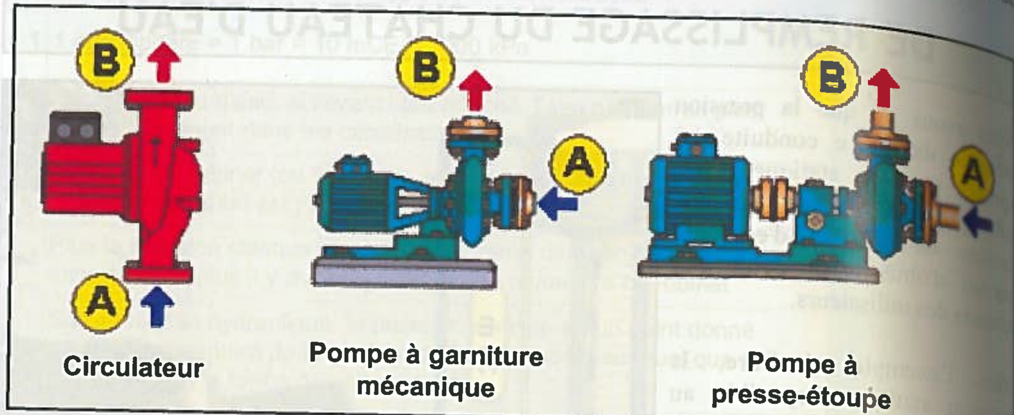
Les différents types de pompes

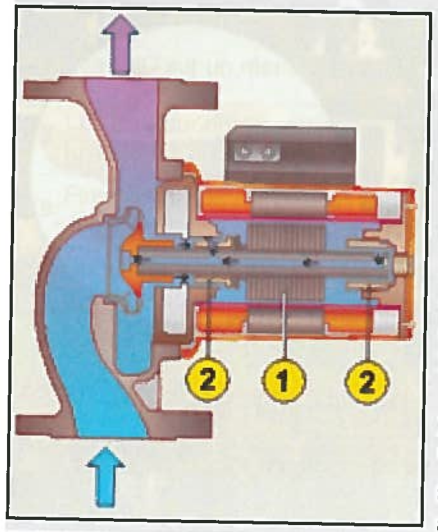
Nous allons à présent examiner de plus près le circuit hydraulique permettant d'alimenter en eau notre réservoir. Les pompes que nous rencontrons sur nos installations utilisent toutes le principe de la force centrifuge pour communiquer de la pression à l'eau qui les traverse, c'est pourquoi toutes ces pompes sont dites " centrifuges ".



Elles fonctionnent exactement de la même manière que les ventilateurs centrifuges. Le fluide à comprimer entre par l'ouïe d'aspiration (repères **A**), puis il est entraîné à grande vitesse dans la volute en forme de coquille d'escargot avant d'être éjecté sous pression par le refoulement (repères **B**).

Nous avons représenté ci-dessous les 3 types de pompes centrifuges que vous êtes susceptible de rencontrer.





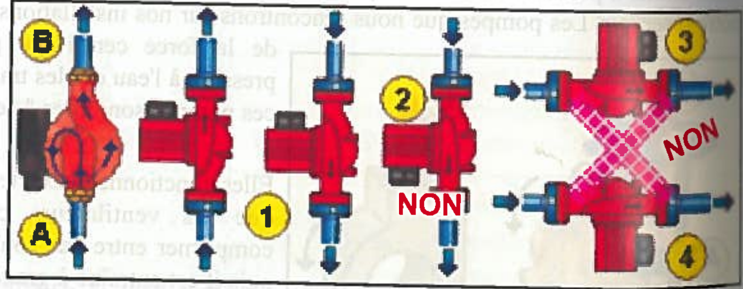
Les circulateurs s'utilisent sur des circuits " fermés " : on dit qu'un circuit est fermé lorsque l'eau n'est pas en contact avec l'air atmosphérique et que c'est la même eau qui " circule " continuellement dans l'installation (par exemple dans un circuit de chauffage par radiateur ou par plancher chauffant).

Afin d'assurer l'étanchéité et de simplifier la fabrication, le rotor, c'est-à-dire la partie tournante (repère **1**) du moteur électrique des circulateurs usuels " baigne " dans l'eau aspirée par la turbine. L'eau est alors utilisée pour assurer le refroidissement de l'ensemble moteur / pompe.

Il ne faut donc utiliser ces appareils qu'avec des eaux " propres ", c'est-à-dire sur des circuits fermés. En effet, s'il y a du sable, des boues, un excès de sels minéraux, etc. aspirés par un circulateur, toutes ces impuretés pourraient pénétrer dans les paliers (repères **2**), entartrer le rotor et donc bloquer rapidement l'appareil.

Le sens de passage de l'eau est gravé sur le corps de la pompe par le constructeur. Si vous hésitez, observez le corps de la pompe :

l'aspiration arrive toujours par le centre la volute (repère **A**) et le refoulement par la sortie de l'escargot (repère **B**). Afin d'assurer un fonctionnement correct, l'axe de la pompe doit toujours être monté horizontalement (repère **1**).



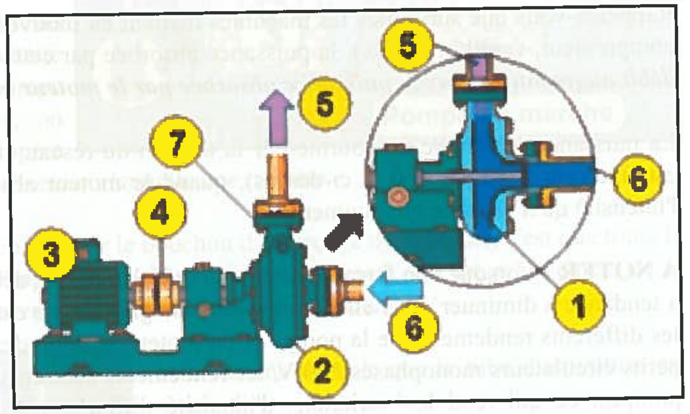
Il est également recommandé de positionner le bornier en partie haute afin d'éviter qu'une fuite d'eau ou des condensats ne puissent s'y introduire (repère **2**).

Avec le **montage 3** de la page précédente, de l'air risque de se piéger en haut du moteur. A ce moment, le palier côté moteur n'étant plus irrigué correctement, l'arbre risque de " serrer " avec pour conséquence une coupure en sécurité.

Enfin, avec le montage 4 ce ne sera plus de l'air mais les impuretés du circuit (copeaux métalliques, boues, etc.) qui peuvent s'accumuler dans le corps du moteur et provoquer sa destruction prématurée. Notez également qu'avec ces 2 derniers montages, le rotor du moteur et la turbine de la pompe veulent descendre par gravité, ce qui provoque une usure prématurée.

De nombreux circulateurs modernes sont pourvus d'une fonction d'auto-purge et parfois de paliers en céramique. Les précautions de montage peuvent alors être plus souples mais dans tous les cas, consultez la notice de montage et respectez scrupuleusement les recommandations du constructeur, cela vous évitera bien des ennuis !

Les pompes (à garniture ou à presse-étoupe) se rencontrent principalement sur des circuits " ouverts " : on dit qu'un circuit est ouvert lorsque l'eau est en contact avec l'air atmosphérique, ce qui est le cas de notre circuit de remplissage du château d'eau.



Ces pompes sont constituées d'une roue à aubes (repère **1**) tournant dans une volute (repère **2**). Le moteur de la pompe (repère **3**) entraîne la roue par l'intermédiaire d'un accouplement (repère **4**).

La force centrifuge provoquée par la rotation de la roue à aubes provoque une dépression du côté aspiration de la pompe (repères **6**), ce qui permet d'aspirer l'eau, puis une surpression du côté refoulement de la pompe (repères **5**) permettant d'expulser l'eau vers le circuit.

A NOTER : Quand une pompe centrifuge démarre, la pression diminue à l'aspiration et elle augmente au refoulement. **Par contre, dès l'arrêt de la pompe, attendu qu'il n'y a aucun clapet, l'égalisation des pressions se fait très rapidement, l'eau sous pression du refoulement pouvant sans problème revenir en sens inverse vers l'aspiration.**

Notez également le bouchon (repère **7**) permettant éventuellement de verser de l'eau dans la volute afin de faciliter l'amorçage de la pompe.

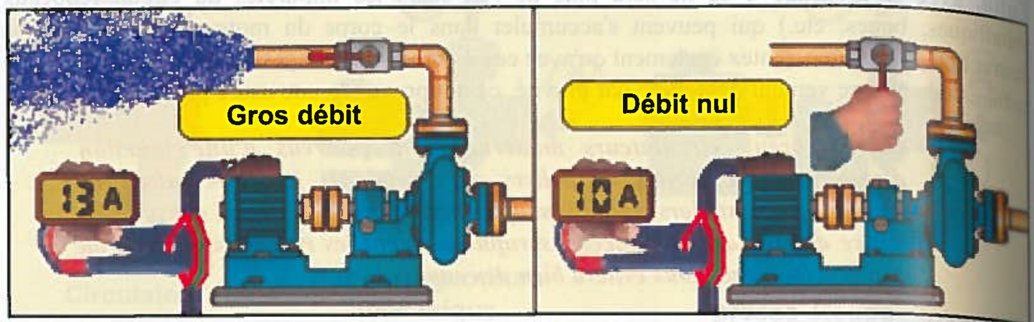
EXERCICE

A présent, admettons que la pompe ci-dessus absorbe une intensité par exemple de 13A.

A ce moment, si on ferme une vanne au refoulement de cette pompe, que fera l'intensité absorbée ? Va-t-elle augmenter ? Va-t-elle diminuer ? Va-t-elle rester sensiblement égale à 13A ?

Et si vous essayiez d'y réfléchir avant de tourner la page ?

Lorsqu'on ferme la vanne de refoulement d'une grosse pompe, beaucoup de techniciens pensent que la pompe va " forcer ", que l'intensité absorbée va donc augmenter et que le moteur risque de couper en sécurité. *Et pourtant, bien au contraire, l'intensité absorbée par le moteur diminue.* Il est même recommandé de démarrer les très grosses pompes vanne de refoulement fermée.



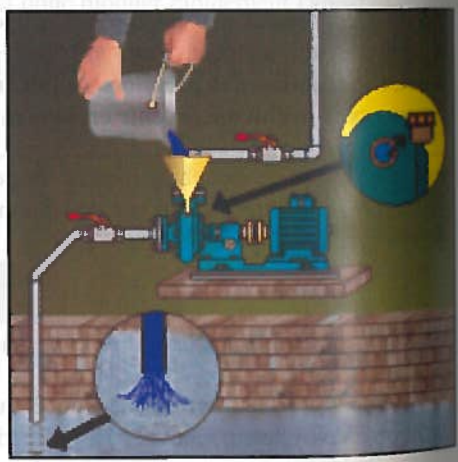
Rappelez-vous que sur toutes les machines mettant en mouvement un liquide ou un gaz (pompe, compresseur, ventilateur, etc.), la puissance absorbée par cette machine est liée au débit : ***Plus le débit augmente et plus la puissance absorbée par le moteur augmente.***

La puissance électrique est fournie par la tension du réseau et par l'intensité. Comme la tension est fixe (par exemple 400 V ci-dessus), quand le moteur absorbe davantage de puissance c'est l'intensité qu'il absorbe qui augmente.

A NOTER : Lorsque l'on ferme la vanne de refoulement, le débit devient nul, l'intensité absorbée a tendance à diminuer mais elle ne devient pas égale à zéro car la pompe tourne quand même, et les différents rendements de la pompe et du moteur se dégradent énormément à débit nul. Sur les petits circulateurs monophasés 220 V, les rendements sont encore moins bons que sur les grosses pompes, ce qui rend les variations d'intensité difficilement mesurables avec les appareils de chantier. Néanmoins, comme pour toutes les pompes, quand le débit diminue l'intensité absorbée a tendance à diminuer.

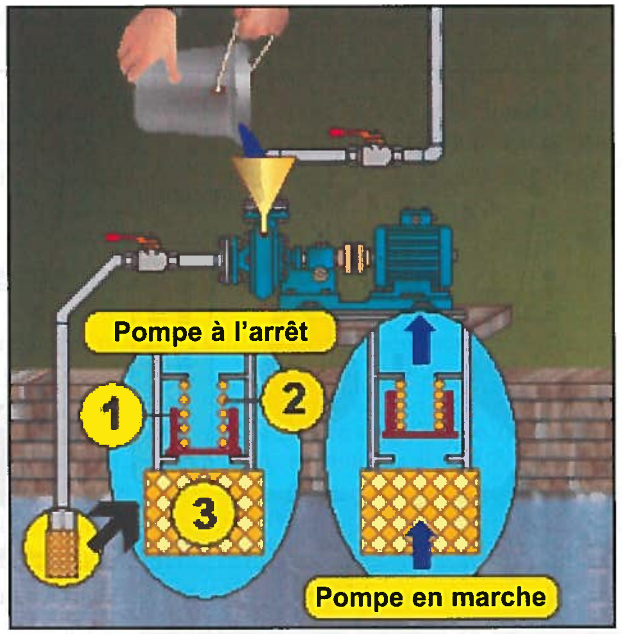
Démarrage de la pompe

Lorsqu'on a installé la pompe ci-contre, toutes les tuyauteries étaient au départ remplies d'air. Pour s'amorcer, la pompe doit tout d'abord aspirer l'air dont est rempli le tube d'aspiration afin de permettre à l'eau de monter dans la turbine.



ATTENTION : un fonctionnement trop long ou trop fréquent d'une pompe " à sec " risque à coup sûr de la détériorer sérieusement. Il faut donc de l'eau dans le tube d'aspiration et dans la roue de la pompe au moment du démarrage. Afin de permettre un amorçage rapide au démarrage, il suffit donc de verser de l'eau dans la volute à l'aide du bouchon prévu à cet effet sur le corps de la turbine. *Mais, au fur et à mesure que l'on verse de l'eau, celle-ci va s'écouler dans la rivière puisqu'il n'y a aucun clapet pour l'en empêcher !*

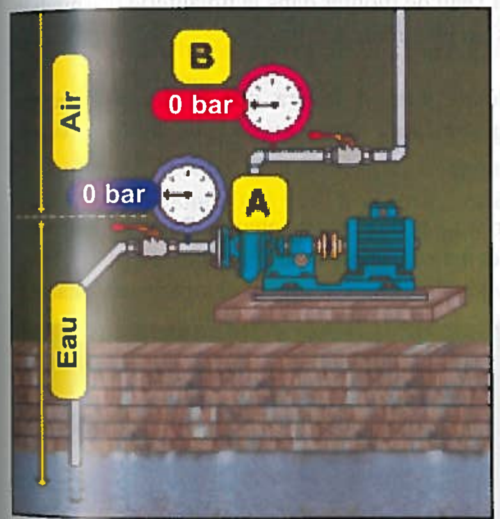
Pour que l'eau reste dans le tube, on installe donc un clapet anti-retour en bas du tube d'aspiration. Quand la pompe est à l'arrêt, le clapet est fermé (repère **1**) par la pression de la colonne d'eau et sous l'action du ressort de rappel (repère **2**).



Quand la pompe démarre, l'effet d'aspiration lève le clapet et laisse passer l'eau de bas en haut.

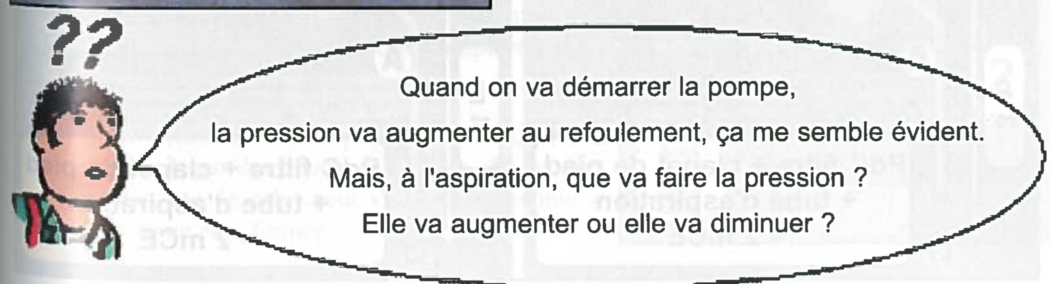
Ainsi, à chaque arrêt de la pompe, l'eau reste dans le tube et la pompe ne risque pas de se désamorcer au prochain démarrage. Bien sûr, ce scénario idéal n'est valable que si le clapet de pied reste étanche. Pour protéger son étanchéité dans le temps et éviter que la pompe n'aspire du sable ou de la boue, on installe un filtre avant le clapet (repère 3). *Cet ensemble filtre + clapet anti-retour s'appelle une crépine.*

Grâce à la crépine, dès que l'eau déborde par le bouchon d'amorçage de la volute, c'est que toute la tuyauterie du côté aspiration est remplie d'eau. Notez qu'à ce moment, le côté refoulement de la pompe ne peut absolument pas contenir d'eau et qu'il reste rempli d'air.

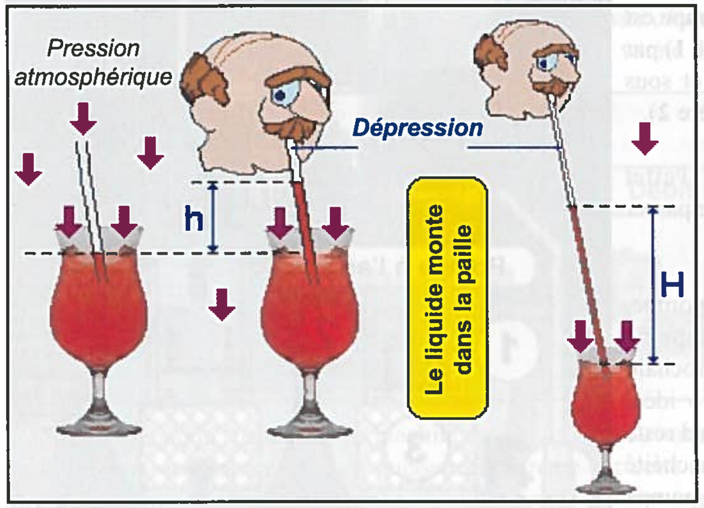


Nous venons de voir que le tube d'aspiration est rempli d'eau jusqu'au bouchon d'amorçage situé sur la volute et que le tube de refoulement est rempli d'air. Le manomètre **B** placé au refoulement mesure donc la pression atmosphérique, soit 0 bar (rappelez-vous qu'un manomètre bien étalonné doit indiquer 0 à l'air libre).

La hauteur de la colonne d'eau au-dessus du manomètre **A** est au maximum de quelques cm, c'est-à-dire la cote entre le piquage du mano et l'orifice du bouchon de remplissage. Attendu que 1 cmCE = 0,001 bar et qu'une pression aussi faible ne peut pas être mesurée avec nos manomètres de chantier, le mano B indique également 0 bar.



Essayons de répondre à Alexis.



Nous savons que la pression atmosphérique s'exerce partout sur Terre, même à la surface d'un sirop et à l'intérieur d'une paille.

Cette pression poussant avec la même force dans le verre et dans la paille, le sirop reste bien sagement dans le fond du verre et il ne peut absolument pas monter dans la paille.

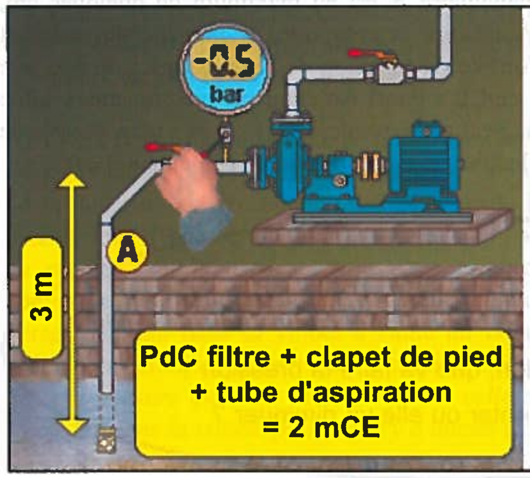
En aspirant on enlève de l'air dans la paille, ce qui crée une dépression qui permet au liquide de monter dans la paille, poussé par la pression atmosphérique qui s'exerce à la surface du sirop.

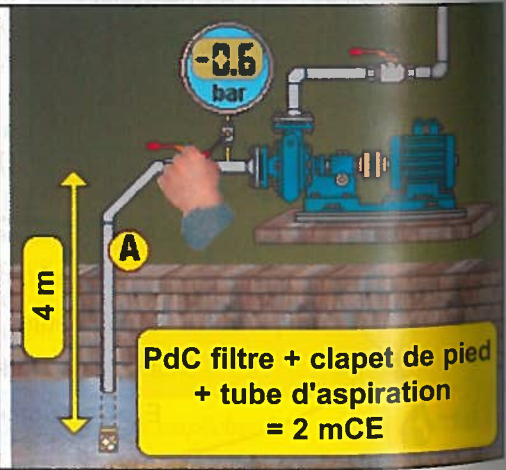
En se rappelant que 1 bar = 10 mCE, si le liquide monte par exemple de h = 10 cm, la dépression est de -10 cmCE (soit -0,01 bar). En admettant une très longue paille, si le liquide monte de H = 1 m, la dépression est de -1 mCE, soit -0,1 bar.

En fait, la pompe fait la même chose que notre bonhomme : quand elle va démarrer, si tout est normal, elle va créer une dépression qui permettra à l'eau de monter dans la tuyauterie d'aspiration. Le manomètre indiquera donc forcément une pression inférieure à 0 bar.

De même, pour faire monter l'eau d'un dénivelé de 3 m, il faudra que la pompe crée une dépression de -0,3 bar. Tout étant normal, l'eau pourra donc être aspirée puis refoulée vers le réservoir du château d'eau.

Tant que l'eau reste immobile, nous avons vu qu'il n'y a pas de perte de charge. Par contre, dès que l'eau se met en mouvement, les frottements sur les parois rugueuses des tubes et les accidents rencontrés (filtre, clapet, coudes, vannes, etc.) provoquent obligatoirement des pertes de charge...





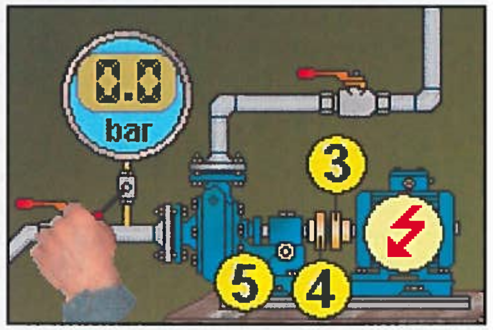
Aussi, quand l'eau va être aspirée, la pompe devra vaincre la résistance du filtre + celle du clapet de pied + celle du tube.

Si la somme de ces pertes de charge à l'aspiration est égale par exemple à 2 mCE comme dans l'exemple de la page précédente, la pompe devra créer une dépression de 2 + 3 = 5 mCE, soit -0,5 bar. Bien sûr, si le dénivelé est de 4 m avec la même perte de charge, la pression à l'aspiration de la pompe chuterait à -0,6 bar.

Quelques pannes parmi les plus fréquentes

Avant de nous intéresser au refoulement de la pompe, examinons quelques incidents pouvant perturber l'amorçage de la pompe :

- En préambule, si le moteur de la pompe ne tourne pas, il faut en chercher les raisons. Le moteur est-il alimenté électriquement ? Si oui, pourquoi ne tourne-t-il pas ? Est-ce un problème électrique ou mécanique ? (*voir test d'un moteur page 366*). Si le moteur n'est pas alimenté, quelle est la cause du problème ?

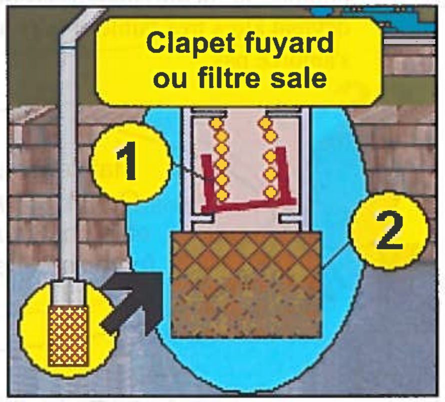


En particulier, Si le moteur " grogne " à la mise sous tension mais que la pompe ne tourne pas, elle est vraisemblablement grippée (notez que dans le cas d'un moteur monophasé, la panne peut être provoquée par un défaut sur le condensateur, *voir page 372*). Contrôlez que la pompe tourne librement à la main et vérifiez régulièrement le niveau d'huile (repère **5**). Si un appoint s'avère nécessaire, respectez les préconisations du constructeur.

Notez que sur ce type de pompe l'étanchéité de l'arbre côté pompe est assurée par un presse étoupe dont le refroidissement est effectué par un léger goutte à goutte. Si ce presse-étoupe est beaucoup trop serré, la pompe risque de tirer trop d'intensité et de couper en sécurité peu de temps après son démarrage.

- Comme nous venons de le voir, s'il n'y a pas d'eau dans la tuyauterie d'aspiration et dans la volute, alors la pompe risque de ne pas s'amorcer.

- Bien sûr, si une vanne est fermée, le débit ne pourra pas s'établir.

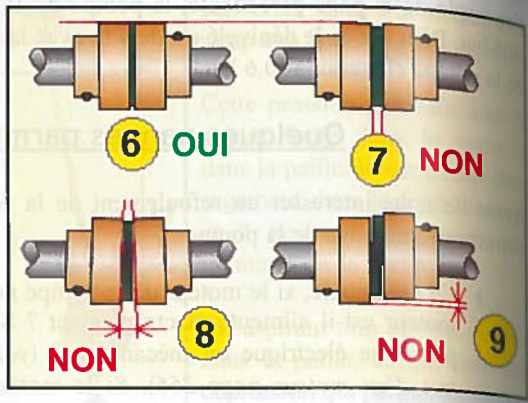


- Quelle qu'en soit la raison, si le clapet de la crépine n'est pas étanche (repère **1**), le tube d'aspiration et le tube de refoulement se remplissent d'air à l'arrêt de la pompe et elle ne peut plus s'amorcer.

- Si le filtre de la crépine est très encrassé (repère **2**) par des boues, des algues, des feuilles mortes, etc. le débit peut s'effondrer, comme si une vanne était fermée.

- L'accouplement en caoutchouc très dur permettant de relier le tourteau du moteur au tourteau de la pompe (repères **3** et **4** page précédente) peut être déformé ou cassé. Dans ce cas, le moteur tourne mais pas la pompe : il ne peut donc y avoir aucun débit d'eau.

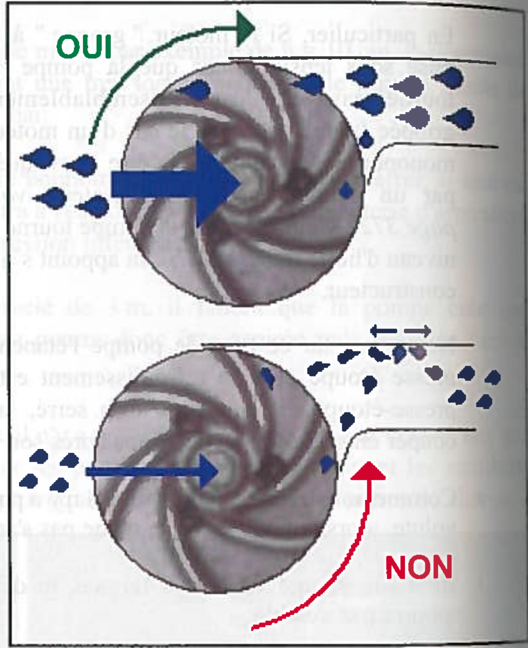
Ce type de problème a souvent pour origine un mauvais réglage des tourteaux qui sont trop éloignés l'un de l'autre (repère **7**) par rapport au réglage correct (repère **6**).



Notez deux autres problèmes trop fréquemment rencontrés : un défaut de décalage angulaire (repère **8**) ou de décalage parallèle (repère **9**).

Tous ces défauts engendrent des vibrations et des bruits parasites qui se transmettent dans les tuyauteries comme dans une ligne téléphonique.

- Notre pompe doit créer une importante dépression pour aspirer l'eau. Les pales de sa turbine sont inclinées avec un angle très précis afin d'obtenir un débit et une pression conformes aux spécifications du constructeur.



Si cette pompe tourne à l'envers (ce qui risque de se produire avec un moteur triphasé (dans ce cas il suffira de permuter 2 phases pour rétablir le sens correct de rotation), le débit et la pression diminuent très fortement.

En effet, l'angle des pales est alors inversé ce qui modifie la trajectoire des gouttelettes de liquide à la sortie de la pompe, la dépression à l'aspiration devient alors très faible et la pompe ne s'amorce pas.



Êtes-vous d'accord avec Alexis ?

Nous avons vu qu'avec un dénivelé de 3 m entre la crépine et la pompe, nous pouvons évaluer la pression d'aspiration à -0,5 bar (en admettant une PdC de 2 mCE dans la crépine et la tuyauterie d'aspiration). Nous avons également vu qu'avec un dénivelé de 35 m, la pression statique est égale à 35 mCE, soit 3,5 bar.

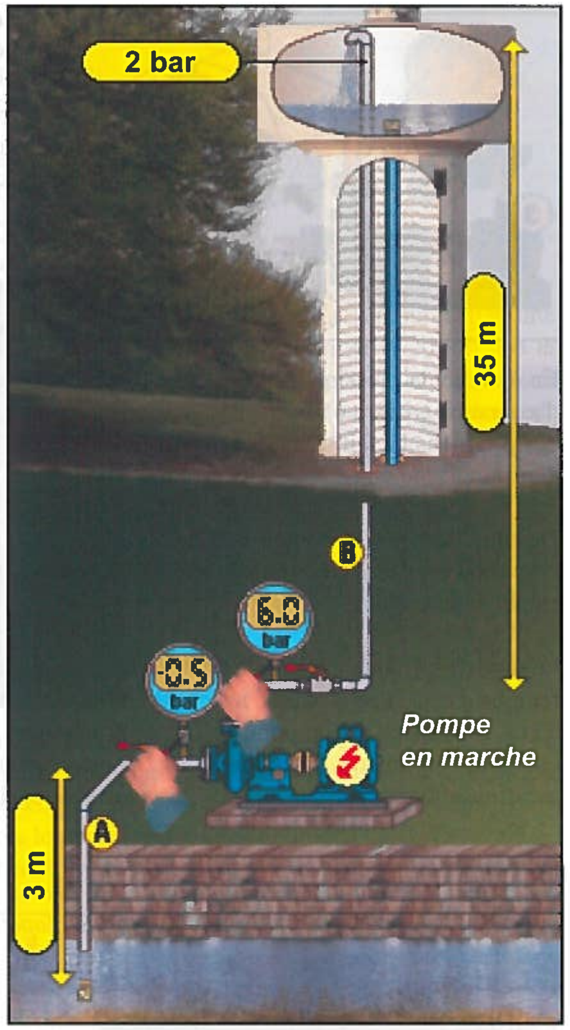
Cependant, Alexis a oublié que cela n'est exact que si l'eau est immobile.

Lorsqu'on va démarrer la pompe, l'eau va se mettre en mouvement, ce qui va occasionner des pertes de charge, et dans une longueur de 35 m de tuyauterie, cela n'est pas négligeable (avec les coudes, les vannes, etc. cela peut représenter plus de 0,5 mCE).

De plus, lorsque l'eau va déboucher dans le réservoir, le débit devra être suffisant (imaginez que l'on essaye de remplir le réservoir avec une pression si faible qu'on obtient tout juste un goutte à goutte !).

Afin d'obtenir un débit de remplissage satisfaisant dans le réservoir, admettons qu'une pression de 2 bar soit nécessaire.

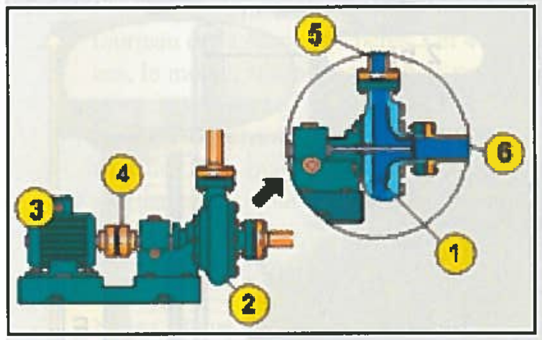
La pression de refoulement de la pompe devra donc être de 3,5 + 0,5 + 2 = 6 bar au minimum.







Et vous, avant de tourner la page, qu'en pensez-vous ?



Pour répondre à la question, rappelez-vous : les pompes centrifuges sont constituées d'une roue à aubes (repère **1**) tournant dans une volute (repère **2**). Le moteur de la pompe (repère 3) entraîne la roue par l'intermédiaire d'un accouplement (repère **4**).

C'est la force centrifuge transmise à l'eau par la rotation de la roue à aubes qui permet d'augmenter la pression au refoulement de la pompe et de mettre l'eau en mouvement.

En marche, la pression au refoulement de la pompe (repère **5**) est évidemment supérieure à celle d'aspiration (repère **6**). Mais, dès l'arrêt de la pompe, attendu qu'il n'y a pas de clapets, l'égalisation des pressions se fait très rapidement, l'eau pouvant circuler sans aucun problème en sens inverse dans la turbine.

De plus, lorsque la pompe s'arrête, l'eau ne peut pas retourner vers la rivière puisqu'elle est bloquée par le clapet de la crépine.



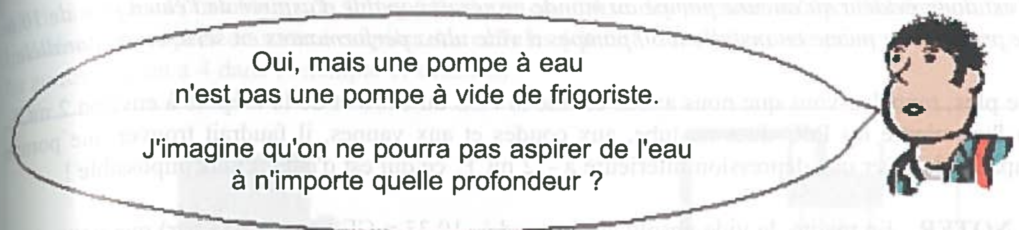
Le tube d'aspiration et celui de refoulement restent donc remplis d'eau. A ce moment, avec une colonne d'eau de 35 m au-dessus de la pompe (on peut négliger les quelques centimètres d'écart entre les 2 manomètres), la pression affichée par chacun des 2 manos sera égale à 35 mCE, soit 3,5 bar.

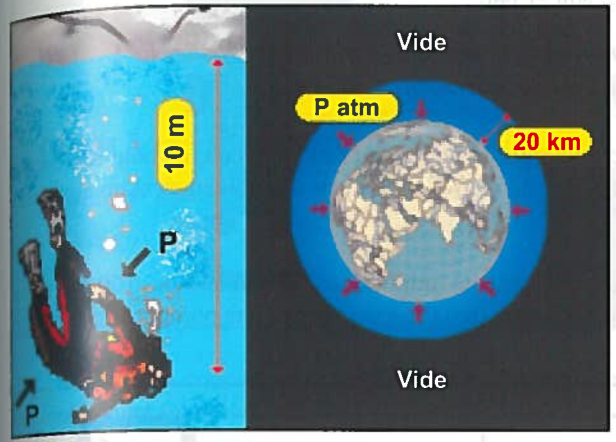
Notez que si la pression indiquée par les manos est inférieure à cette valeur, cela signifie que le clapet de pied n'est plus étanche.

On peut donc facilement vérifier l'étanchéité de ce clapet en arrêtant la pompe et en observant les manos :

- Si la pression affichée par le mano d'aspiration diminue continuellement, c'est que le clapet de pied est fuyard.
- Si la pression d'aspiration reste stable mais que celle de refoulement diminue, c'est qu'il y a une fuite sur le refoulement. A ce moment, si la pression de refoulement cesse de diminuer par exemple à 2 bar, c'est que la fuite se produit 20 m plus haut.

Pour terminer, nous avons vu que la pression d'aspiration en fonctionnement est dans notre exemple de -0,5 bar (3 m de dénivelé + 2 mCE de PdC de la crépine et du tube). Au fur et à mesure de l'encrassement du filtre de la crépine, sa perte de charge va augmenter et la pression à l'aspiration va diminuer (au passage, rappelez-vous que le débit va également diminuer puisque la PdC totale du réseau va augmenter). *On devra donc intervenir pour nettoyer la crépine avant que la diminution de la pression d'aspiration devienne critique.*

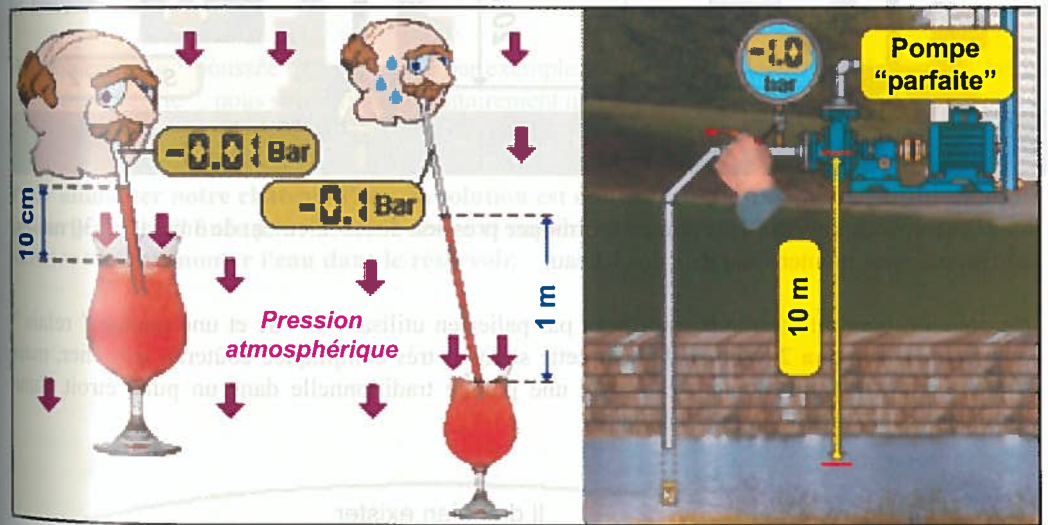




Avant de répondre à Alexis, rappelez-vous : la Terre est entourée par une épaisseur d'air d'environ 20 km. De la même manière qu'une hauteur d'eau exerce une pression sur un plongeur (1 bar tous les 10 m), la hauteur de l'atmosphère exerce une pression sur la surface du globe.

C'est cette pression qu'on appelle la pression atmosphérique. De plus, au-delà de l'atmosphère, il n'y a plus la moindre trace d'air : c'est le vide absolu.

Reprenons l'exemple de la paille vu précédemment. En aspirant dans la paille on enlève de l'air, ce qui crée une dépression (un " petit vide ") qui permet au liquide de monter, poussé par la pression atmosphérique qui s'exerce à la surface du sirop. Si le liquide monte de 10 cm, la dépression est de 10 cmCE (soit -0,01 bar). En admettant une très longue paille (et des poumons en parfait état), si le liquide monte de 1 m, la dépression est de 1mCE, soit -0,1 bar.



En utilisant une pompe parfaite (ce qui n'existe pas) qui serait capable d'enlever absolument tout l'air, elle pourrait créer au maximum un " vide absolu " égal à -1 atm, soit -1 bar, soit -10 mCE :

-1 bar (soit -10 mCE) est donc la plus petite pression qu'on puisse obtenir, puisqu'en fait c'est l'absence totale de matière.

Il est donc évident qu'aucune pompe au monde ne serait capable d'aspirer de l'eau à plus de 10 m de profondeur, même en installant 50 pompes à vide ultra performantes en série ou en parallèle !

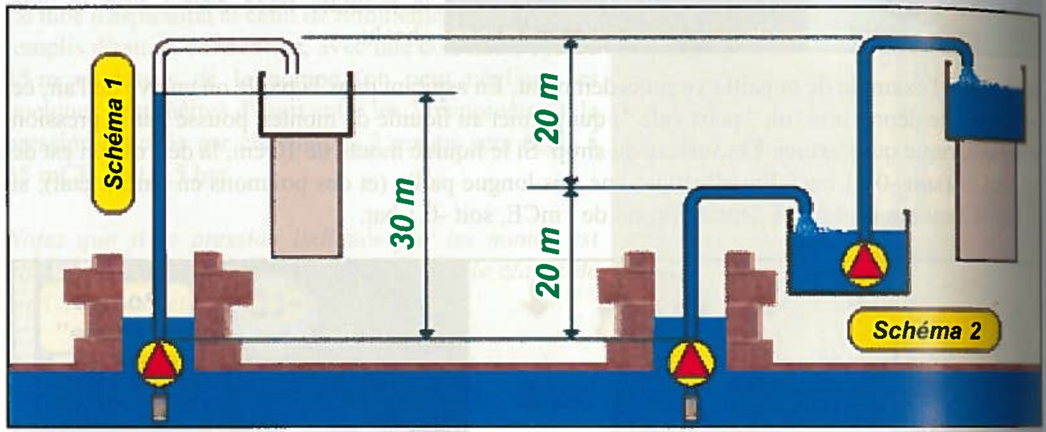
De plus, rappelez-vous que nous avons estimé la PdC du filtre et de la crépine à environ 2 mCE. Si l'on rajoute les PdC dues au tube, aux coudes et aux vannes, il faudrait trouver une pompe capable de créer une dépression inférieure à -12 mCE, ce qui est d'autant plus impossible !

A NOTER : En réalité, le vide absolu correspond à -10,33 mCE (soit -1,033 bar) que nous avons arrondi en " valeur chantier " à -10 mCE, soit -1 bar.

Dans la pratique, aucune pompe centrifuge n'étant parfaite, la hauteur d'aspiration est limitée à environ 6 ou 7 m.

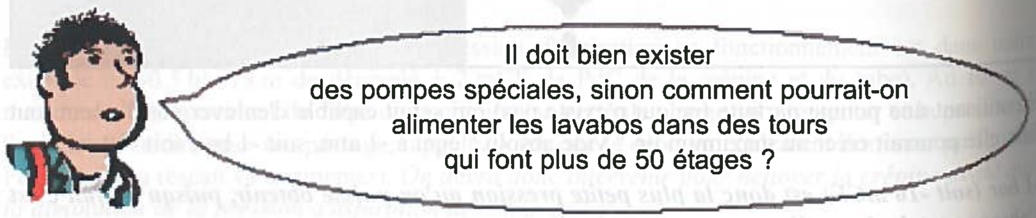
Pour résoudre ce problème, il suffirait d'immerger la pompe au fond de l'eau, comme représenté ci-dessous. Pour monter de l'eau à une dizaine de mètres, il y a peu de problèmes si on équipe la pompe d'un moteur étanche à l'eau.

Par contre, si on veut monter l'eau à des hauteurs importantes (20 m, 40 m, 100 m, voire davantage), d'importantes pressions de refoulement seront nécessaires et une pompe unique risque de ne pas suffire.

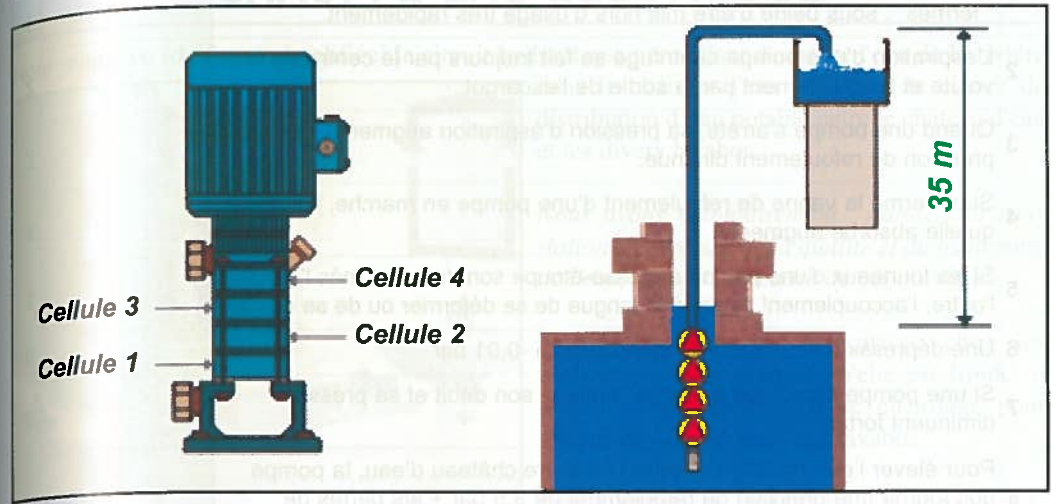


Dans l'exemple du **schéma 1**, la pompe fournit une pression de refoulement de 3 bar (soit 30 mCE), insuffisante pour monter l'eau dans le château.

Une solution pourrait être de monter l'eau par palier en utilisant un bac et une pompe " relais " comme sur le **schéma 2**. Non seulement cette solution très compliquée coûterait très cher, mais en plus comment faire monter l'eau avec une pompe traditionnelle dans un puits étroit d'une profondeur de 50 ou 100 m par exemple ?



Alexis a raison. Pour obtenir de fortes pressions, on utilise des pompes multicellulaires qui sont spécialement conçues de sorte à empiler des cellules (en fait, des turbines de pompe) les unes sur les autres (il y en a 4 dans l'exemple ci-dessous).



Les cellules sont conçues pour être empilées en se raccordant automatiquement en série avec un encombrement minimum.

Imaginons que chaque cellule possède une " poussée " de 10 mCE.

L'eau passe dans la première cellule qui lui donne une pression de 10 mCE. Le refoulement de cette première cellule est par construction connectée à l'aspiration de la seconde qui lui donne une pression supplémentaire de 10 mCE (on a donc 20 mCE au refoulement de cette seconde cellule), et ainsi de suite.

Pour obtenir une " poussée " de 100 mCE par exemple, il suffit d'empiler 10 cellules (afin d'éviter la " grosse théorie ", nous simplifions volontairement un peu, mais sachez que cette technologie est utilisée très fréquemment pour obtenir des fortes pressions).

Pour alimenter notre château d'eau, la solution est donc d'utiliser une pompe multicellulaire immergée sélectionnée pour le débit désiré et capable de donner une pression de refoulement suffisante pour monter l'eau dans le réservoir.

Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°30 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX
1	Les circulateurs ne doivent surtout pas être utilisés sur des circuits " fermés ", sous peine d'être mis hors d'usage très rapidement		
2	L'aspiration d'une pompe centrifuge se fait toujours par le centre de la volute et le refoulement par la sortie de l'escargot		
3	Quand une pompe s'arrête, sa pression d'aspiration augmente et sa pression de refoulement diminue.		
4	Si on ferme la vanne de refoulement d'une pompe en marche, l'intensité qu'elle absorbe augmente		
5	Si les tourteaux d'une pompe à presse-étoupe sont trop éloignés l'un de l'autre, l'accouplement risque à la longue de se déformer ou de se casser		
6	Une dépression de -10 cmCE correspond à -0,01 bar		
7	Si une pompe centrifuge tourne à l'envers, son débit et sa pression diminuent fortement		
8	Pour élever l'eau de 35 m et alimenter notre château d'eau, la pompe doit fournir une pression de refoulement de 3,5 bar + les pertes de charge de la tuyauterie		
9	Aucune pompe de surface n'est capable d'aspirer de l'eau à une profondeur de 10 m		
10	Dans une pompe multicellulaire, le refoulement de chaque cellule est connecté à l'aspiration de la cellule placée au-dessus d'elle.		

CORRIGÉ DE L'EXERCICE

1 : Faux. Au contraire les circulateurs ne doivent être utilisés que sur des circuits fermés, et jamais sur des circuits ouverts. - 2 : Vrai. Entraînez-vous à repérer l'aspiration des pompes rien qu'en les observant. Cela pourra vous rendre service. - 3 : Vrai. Puisqu'il n'y a pas de clapet, ces 2 pressions s'égalisent rapidement - 4 : Faux. Au contraire l'intensité absorbée diminue (elle augmente lorsque le débit augmente et réciproquement). - 5 : Vrai. C'est principalement le choc du caoutchouc dans la cavité des tourteaux qui se produit à chaque démarrage qui détruit progressivement l'accouplement - 6: Vrai. Faites l'effort de bien maîtriser les unités, cela vous évitera bien des erreurs en consultant les docs des fabricants. - 7 : Vrai. Et cela est exact avec toutes les machines centrifuges- 8 : Faux. Si l'on ne veut pas alimenter le réservoir avec un goutte à goutte, il faut également que la pression soit suffisante à l'arrivée du tube dans le réservoir. - 9 : Vrai. Dans la pratique la hauteur d'aspiration est limitée à environ 6 ou 7 m - 10 : Vrai. Et la multiplication des cellules permet d'obtenir des pressions de refoulement très importantes.

Toutes ces notions, et bien d'autres, sont expliquées beaucoup plus en détails dans les 1007 pages en couleurs du Manuel du Dépanneur, du même auteur (voir page 661).

LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE PAR UN CHAUFFE-EAU ÉLECTRIQUE

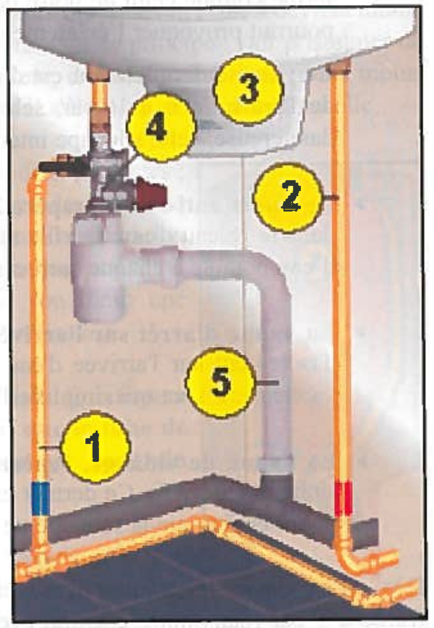
Nous avons vu (de façon simplifiée) le circuit hydraulique permettant d'amener l'eau de la rivière dans le château d'eau ainsi que le circuit de distribution d'eau potable entre le château d'eau et les divers lavabos.



Nous avons volontairement " oublié " la sous station de contrôle de la qualité et du traitement de l'eau, qui sort du cadre de cet ouvrage.

A présent, l'eau potable arrive chez les utilisateurs, mais attendu qu'elle est froide, il faudra utiliser un moyen de chauffage pour obtenir de l'eau chaude aux lavabos.

Pour commencer, imaginons que l'eau chaude soit produite par le chauffe-eau électrique représenté ci-contre.



Un chauffe-eau électrique étant un récipient sous pression, quelques précautions s'imposent. Alors, Regardons de plus près ce ballon.

L'eau froide (repère **1**) pénètre dans le chauffe-eau à la pression du réseau d'eau potable (qui dépend de la zone d'habitation). Si cette pression est par exemple de 4 bar, le ballon sera rempli d'eau à 4 bar.

Chauffée par une résistance électrique protégée par un carter (repère **3**), l'eau chaude (repère **2**) est alors disponible pour alimenter les divers lavabos.

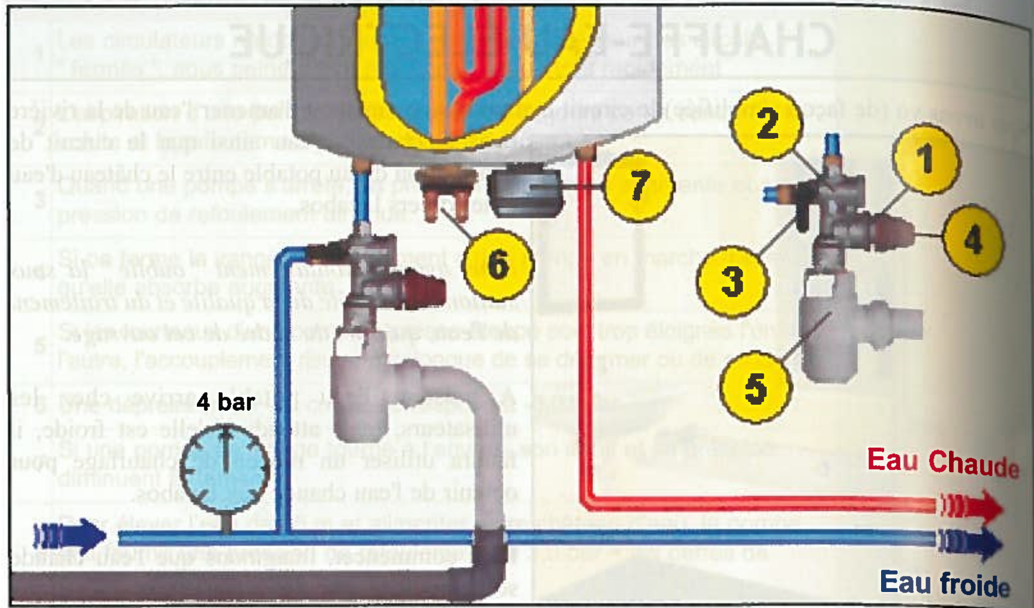
Mais, entre 10°C et 60°C, l'eau se dilate d'environ 2,5%. Avec un ballon de 200 litres par exemple, quand la température de l'eau passe de 10°C à 60°C, l'augmentation de volume provoqué par la dilatation est d'environ 200 x 2,5 / 100 = 5 litres !

Attendu que son enveloppe se dilate très peu, la pression à l'intérieur du ballon augmente alors considérablement. Si le ballon se perce ou éclate, l'eau continue à couler à travers le ballon déchiré en provoquant, en plus, une inondation !

Pour éviter ce problème très grave, la législation impose l'installation d'un groupe de sécurité (repère **4**) interdisant toute augmentation intempestive de pression à l'intérieur du Ballon.

Si la soupape " crache ", l'eau rejetée est envoyée à l'égout (repère **5**).

Regardons de plus près ce groupe de sécurité.



- **La soupape de sécurité, repère 1** : Lorsque l'eau chauffe, elle se dilate. Dans un volume fermé comme celui de notre ballon, cela se traduit par une augmentation de pression qui pourrait provoquer l'éclatement du ballon.

  Le volume de dilatation est donc évacué à l'égout par une soupape tarée à une pression de l'ordre de 6 à 10 bar, selon les types de chauffe-eau. En évitant toute surpression dangereuse, cette soupape interdit donc tout risque d'éclatement du ballon.

- **Le clapet anti-retour, repère 2** : Empêche l'eau qui se trouve dans le ballon de retourner dans le réseau d'eau de ville afin d'éviter tout risque de pollution accidentelle du réseau d'eau potable à chaque surpression provoquée par la dilatation de l'eau dans le ballon.

- **La vanne d'arrêt sur l'arrivée d'eau froide, repère 3** : Au lieu de rajouter une vanne d'isolement sur l'arrivée d'eau froide, le groupe de sécurité est lui-même équipé d'une vanne d'arrêt, ce qui simplifie l'installation du chauffe-eau.

- **La vanne de vidange, repère 4** : Permet de vidanger le ballon par l'intermédiaire du siphon (**repère 5**). Ce dernier est ajouré afin de permettre un contrôle visuel (par exemple pour vérifier que la soupape ne fuit pas continuellement).

Dès qu'on ouvre un robinet d'eau chaude, la pression diminue dans le ballon et de l'eau froide à 4 bar (dans notre exemple) remplace l'eau chaude qui vient de sortir du ballon. Selon l'importance du puisage d'eau chaude, cette arrivée d'eau froide provoque une diminution de la température de l'eau dans le ballon.

Lorsque le thermostat (**repère 7**) détecte cet abaissement de la température de l'eau, il enclenche la résistance du chauffe-eau (**repère 6**) afin de remonter la température de la masse d'eau refroidie. Notez que l'enlenchement de la résistance se fait généralement pendant les heures creuses, car le tarif électrique est alors beaucoup plus avantageux.

Au passage, rappelons que dans de l'eau stagnante entre 30°C et 50°C, des colonies de légionelles risquent de se développer.



Lorsqu'on prend une douche, ces bactéries accrochées aux minuscules gouttelettes d'eau peuvent être inspirées dans les poumons et être la cause d'une maladie pulmonaire très grave pouvant occasionner la mort : la légionellose.

Mais, pas de panique, si vous êtes en bonne santé, non sujet à des maladies pulmonaires répétitives, vous ne risquez rien.

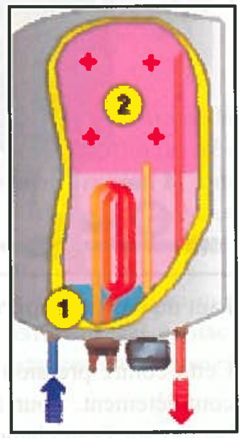


Par principe, la fonction d'un chauffe-eau à accumulation est de chauffer de l'eau froide pour fournir la quantité la plus importante possible d'eau chaude : la disposition des tubes doit donc être rigoureusement respectée afin de ne pas obtenir de l'eau tiède.



Le fonctionnement repose sur un principe fondamental : quand on chauffe un liquide ou un gaz, sa densité diminue (en clair, il devient moins " lourd "). La Montgolfière fonctionne sur ce principe : l'air prisonnier de l'enveloppe est chauffé par un brûleur, il devient plus léger (donc moins lourd que l'air froid environnant) et il s'élève en entraînant la nacelle.

Pour un liquide, les réactions sont plus lentes : disons que l'eau est moins facile à bouger que l'air. Cependant, des essais de coloration d'eau chaude et froide permettent de visualiser une totale séparation par exemple entre de l'eau calme à 15°C (**repère 1** en bas du ballon) et à 50°C (**repère 2** en haut du ballon). C'est si spectaculaire que l'on dirait une frontière invisible. *On appelle ce phénomène physique la stratification.*



Pour qu'un ballon à accumulation fonctionne correctement, il est donc impératif que le tube de sortie d'eau collecte l'eau chaude en haut du ballon.

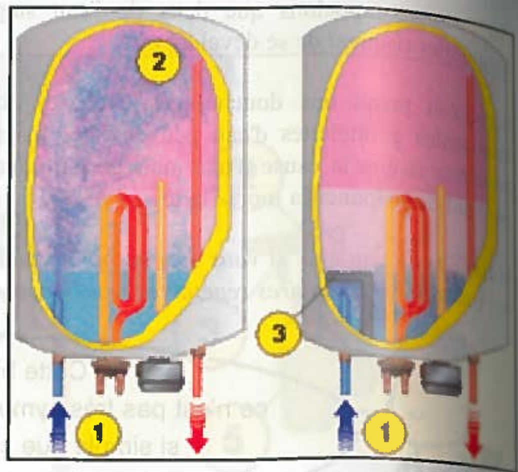


Le tube de sortie d'eau chaude donc va puiser l'eau en haut du ballon (**repère 4**). Quand un utilisateur puise de l'eau chaude, celle-ci est aussitôt remplacée par de l'eau froide qui pénètre dans le ballon.

Si cette arrivée d'eau froide se faisait dans le haut du ballon, cela refroidirait la nappe supérieure d'eau chaude, ce qui est contraire au but recherché.

C'est pourquoi le tube d'arrivée d'eau froide doit absolument s'arrêter en bas du ballon (repère 3).

A présent, imaginez qu'un utilisateur prenne une douche. Puisqu'il soutire de l'eau chaude, la pression va diminuer à l'intérieur du ballon et de l'eau froide va pénétrer dans celui-ci.

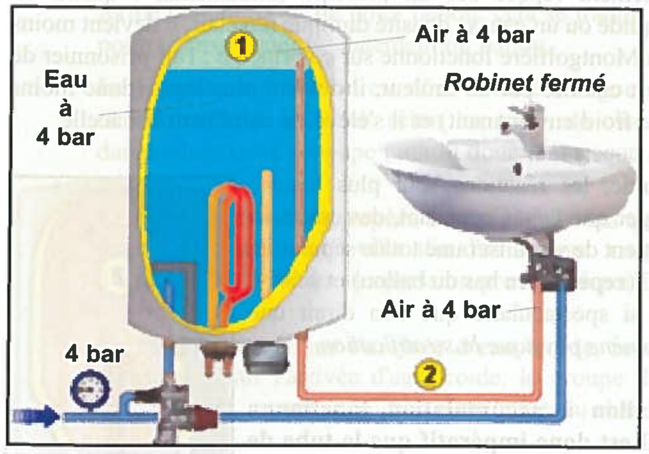


Cette importante quantité d'eau froide sous pression (**repères 1**) aurait tendance à traverser le ballon de bas en haut et donc à brasser et à mélanger l'eau froide et l'eau chaude (**repère 2**), ce qui serait absolument contraire au but recherché.

Pour que le ballon fonctionne correctement, l'eau froide d'alimentation sous pression doit donc rencontrer un obstacle dès qu'elle pénètre dans le ballon, afin d'éviter toute possibilité de brassage intempestif.

Cet obstacle appelé " brise-jet " ou encore " casse pression " (**repère 3**) permet de ralentir la vitesse de l'eau froide et de la maintenir à sa place, c'est-à-dire dans le bas du ballon.

Mais, revenons à l'installation du chauffe-eau. Lorsque le monteur aura terminé les raccordements hydrauliques du ballon, celui-ci sera entièrement rempli d'air à la pression atmosphérique.

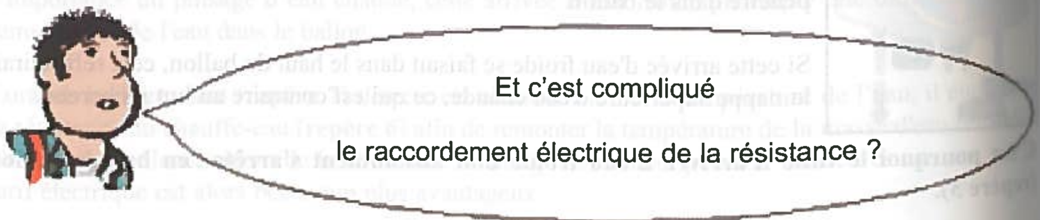


Ensuite, lorsqu'il va ouvrir l'arrivée d'eau froide (à 4 bar dans notre exemple), celle-ci va pénétrer par le bas du ballon et le remplir lentement en repoussant et en comprimant l'air vers le haut.

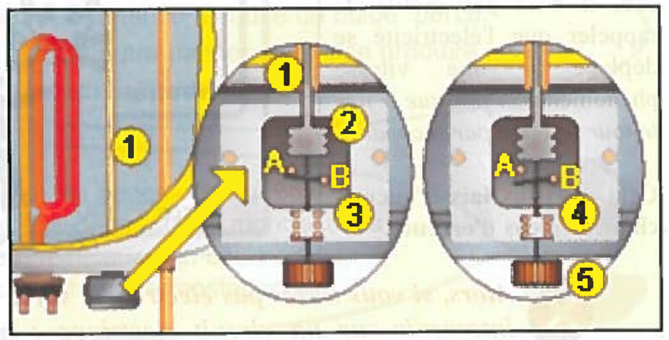
Lorsque l'air sera comprimé à 4 bar, l'eau d'alimentation à 4 bar ne pourra plus pénétrer dans le ballon.

Tant que le robinet d'eau chaude du lavabo restera fermé, l'air restera comprimé à 4 bar et prisonnier en haut du ballon (**repère 1**) ainsi que dans la tuyauterie d'eau chaude (**repère 2**).

Cette contre-pression due à l'air comprimé dans le haut du ballon empêche l'eau de le remplir complètement. Pour achever le remplissage, il sera alors indispensable d'ouvrir le mitigeur du lavabo sur l'eau chaude, jusqu'à ce que de l'eau en sorte, afin de permettre l'évacuation totale de l'air prisonnier en haut du ballon, et donc le remplissage complet en eau de celui-ci.



Quelques problèmes électriques

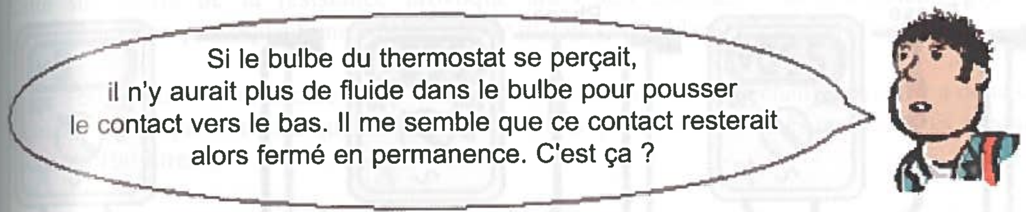


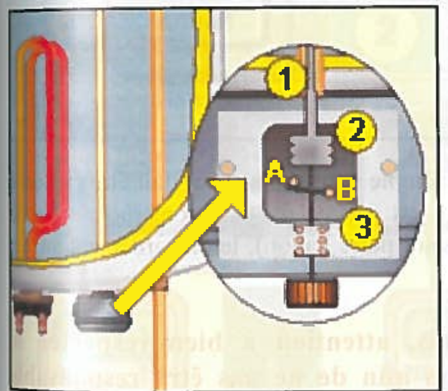
Tous les chauffe-eau électriques sont équipés d'une ou de plusieurs résistances et d'un thermostat pour les commander afin de régler la température de l'eau chaude. Un bulbe contenant un fluide très dilatable (**repères 1**) mesure la température de l'eau et est relié à un soufflet (**repère 2**).

Quand l'eau est froide, le fluide se contracte ainsi que le soufflet. Cette contraction fait monter le soufflet qui commande le contact électrique. Cela provoque la fermeture du contact entre les bornes **A** et **B** (**repère 3**) et autorise donc les résistances électriques à fonctionner.

Quand l'eau est chaude, le fluide contenu dans le bulbe se dilate en poussant le soufflet vers le bas, ce qui provoque l'ouverture du contact électrique **A-B** (**repère 4**) et donc l'arrêt des résistances.

Un bouton de réglage (**repère 5**) permet de bander plus ou moins un ressort qui pousse d'une façon opposée à l'action du bulbe. Ce dispositif mécanique très simple permet de modifier la température de consigne de l'eau (souvent entre 50 et 55°C pour un chauffe-eau à accumulation).





Alexis a parfaitement raison. Comme nous venons de le voir, le bulbe (**repère 1**) contient un fluide très dilatable. Il est relié à un soufflet (**repère 2**) qui commande mécaniquement la position du contact (**repère 3**).

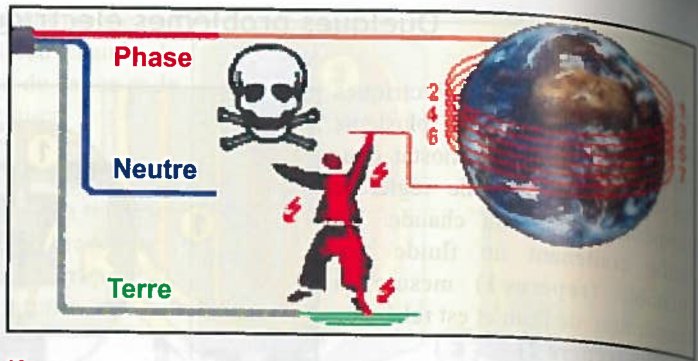
Quand l'eau est froide, le fluide se contracte ainsi que le soufflet, ce qui provoque la fermeture du contact électrique et donc autorise les résistances électriques à fonctionner.

Si le bulbe se perçait, le contact **A-B** du thermostat resterait effectivement fermé en permanence. Le contact **A-B** restant fermé, la résistance électrique serait en permanence sous tension. La température de l'eau augmenterait alors très dangereusement : imaginez qu'en ouvrant un robinet d'eau chaude, de l'eau ou de la vapeur jaillisse à 100°C !

Pour cette raison, ces thermostats sont équipés d'un autre contact intégré et non réglable (dit de sécurité), qui interdit à l'eau de dépasser 65°C à 70°C.

Avant d'aborder l'aspect électrique de notre chauffe-eau, il n'est pas inutile de rappeler que l'électricité se déplace à une vitesse phénoménale : *presque 7 fois le tour le Terre par seconde !*

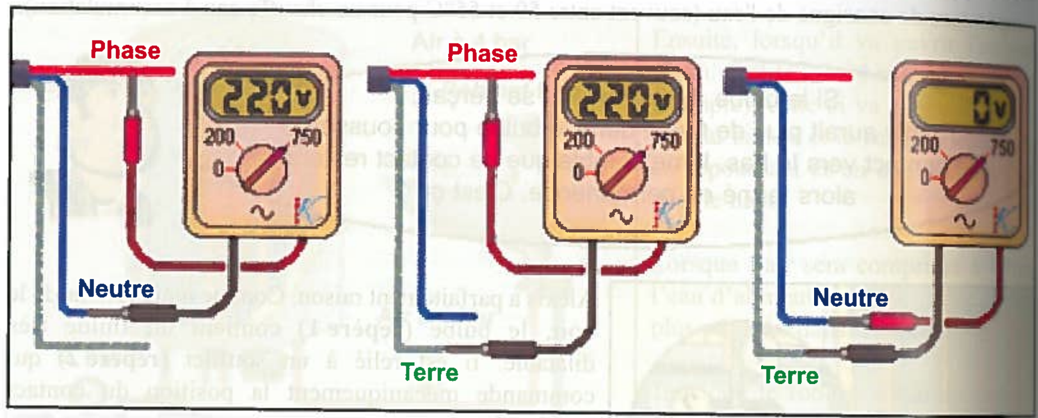
Cela ne vous laisse aucune chance en cas d'erreur !



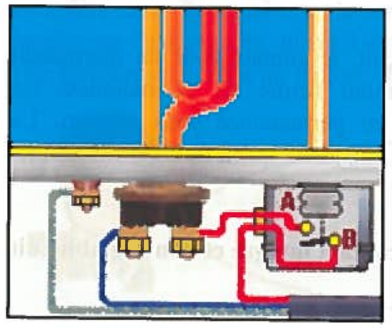
Alors, si vous n'êtes pas électricien, soyez très prudent si vous devez intervenir sur un circuit électrique : même le 220 V peut être mortel, principalement dans une pièce humide !

La majorité des installations domestiques est alimentée en courant monophasé 220 V. Par convention, et afin d'éviter les accidents, **le fil de Terre est un fil de couleur vert / Jaune** qui doit obligatoirement être relié à la Terre, **le fil de Phase est un fil de couleur rouge** ou **noire** et **le fil de Neutre est un fil de couleur bleue.**

Sur les installations domestiques classiques, la tension est de 220 V entre la Phase et le Neutre mais également entre la Phase et la Terre. Par contre, la tension entre le Neutre et la Terre est de 0 V.

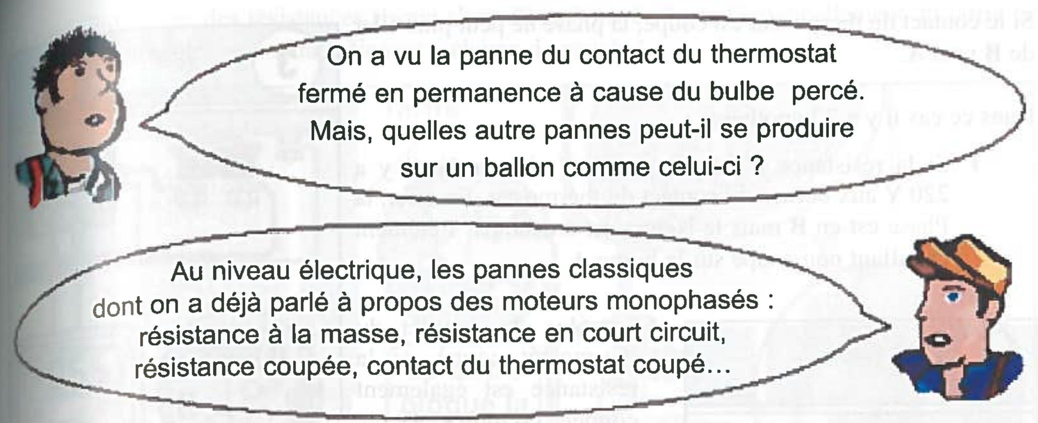


Pour fonctionner sans risque, un récepteur 220 V (par exemple notre résistance) doit être raccordé entre une Phase et un Neutre. Si une mise à la Terre est prévue par son constructeur sur la carcasse du récepteur (ce qui est obligatoirement le cas sur notre ballon), le raccordement sur un fil de Terre est obligatoire.



Une nouvelle fois, attention à bien respecter le code des couleurs afin de ne pas être responsable d'un accident qui pourrait avoir des conséquences dramatiques et engager votre responsabilité !

Nous avons reproduit ci-contre le schéma correct de raccordement de la résistance monophasé (dans tous les cas, consultez le schéma de câblage fourni par le fabricant).



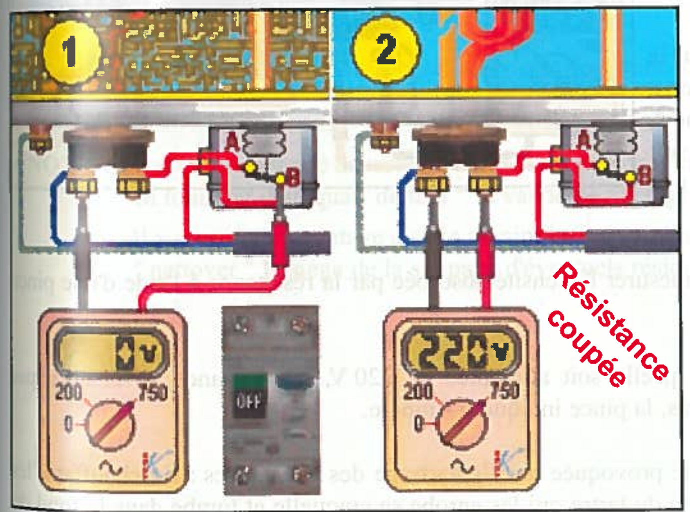
Examinons les pannes électriques les plus courantes :

En chauffant l'eau à une température de 50°C, les sels entartrants dissous dans l'eau (calcium et magnésium) se déposent principalement aux points les plus chauds, donc sur les résistances.

Notez que l'épaisseur et la vitesse de formation du dépôt de tartre dépendent de la teneur en sels minéraux de l'eau potable du lieu d'installation. Lorsqu'une résistance est entartrée, attendu que le tartre est un bon isolant thermique, la chaleur fournie par cette résistance devient très difficilement absorbée par l'eau et c'est alors la masse métallique de la résistance qui s'échauffe anormalement.

Cette surchauffe de la résistance provoque alors son claquage : la résistance " grille " (généralement en provoquant une coupure par le disjoncteur) et l'eau n'est plus chauffée.

Si l'eau est froide à la sortie du chauffe-eau, c'est que la résistance ne la chauffe pas. Il y a donc un problème électrique (à moins que le client ne vienne de prendre 10 douches consécutives avec un ballon de 100 litres !).

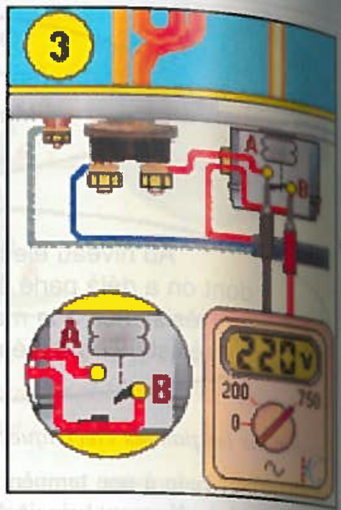


Il est facile de vérifier de visu si le disjoncteur a coupé. De plus, il y a dans ce cas 0 V sur l'arrivée Phase-Neutre du bornier du ballon (**schéma 1**).

Il y a alors de fortes chances, à cause d'une accumulation de tartre ayant provoqué une surchauffe de l'élément chauffant que la résistance soit en court-circuit ou à la masse, ce qui sera facile à vérifier (*voir test des moteurs, page 366*).

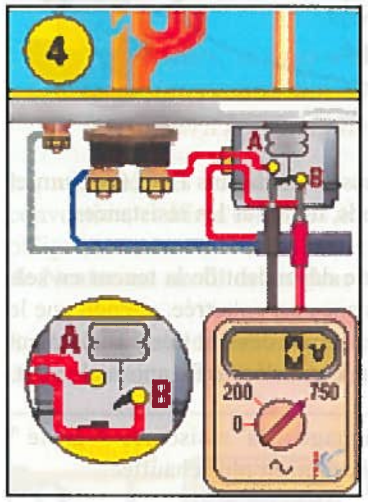
Si la résistance électrique est coupée, il est évident que l'eau ne peut plus chauffer : il faudra la remplacer (ou remplacer le chauffe-eau s'il s'agit d'un modèle très ancien, d'autant plus que le démontage d'une résistance très entartrée n'est pas toujours facile !). Notez que dans ce cas, il y a 220 V aux bornes de la résistance (**schéma 2**).

Si le contact du thermostat est coupé, la phase ne peut plus aller de **B** vers **A**.



Dans ce cas il y a 2 hypothèses :

- Si la résistance n'est pas coupée (**schéma 3**), il y a 220 V aux bornes du contact du thermostat. En effet, la Phase est en **B** mais le Neutre est amené par l'élément chauffant non coupé sur la borne **A**.

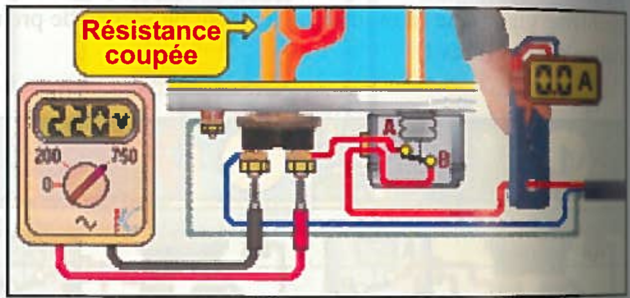


- En plus du contact du thermostat coupé, si la résistance est également coupée (**schéma 4**), le Neutre ne peut plus traverser la résistance pour arriver sur la borne **A** : le voltmètre indique alors 0 V.

Ce rapide contrôle peut vous permettre d'éviter bien des soucis, surtout si le thermostat n'est pas intégré dans la résistance.

En effet, le client n'apprécierait sans doute guère qu'après avoir diagnostiqué le remplacement d'un thermostat le jour du dépannage, vous lui annonciez le jour de la réparation que la résistance est également à remplacer !

A NOTER : Lorsqu'il y a 220 V aux bornes d'une résistance en bon état, plusieurs heures sont nécessaires pour chauffer l'eau du ballon.



Afin de vérifier rapidement si la résistance chauffe, on peut vérifier si le compteur électrique " tourne ", mais il suffit qu'un réfrigérateur soit en marche pour vous induire très sérieusement en erreur.

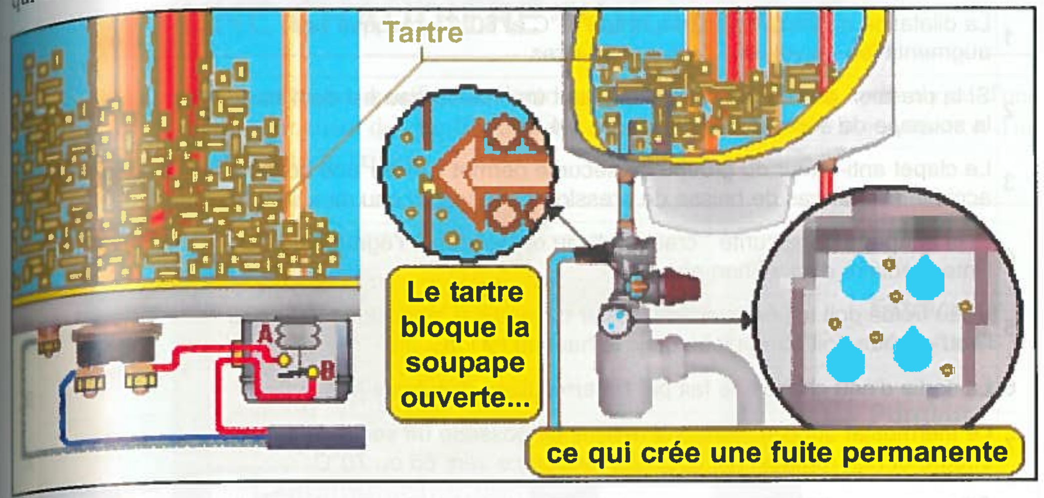
Le moyen le plus sûr consiste à mesurer l'intensité absorbée par la résistance à l'aide d'une pince ampèremétrique.

Dans l'exemple ci-dessus, bien qu'elle soit alimentée en 220 V, la résistance ne chauffe pas puisqu'elle est coupée : dans ce cas, la pince indique 0 Ampère.

Citons également une autre panne provoquée par l'entartrage des résistances : En chauffant, les résistances se dilatent et une partie du tartre qui les enrobe se craquelle et tombe dans le fond du ballon.

Mais, petit à petit le niveau de tartre monte...

La partie inférieure des résistances risque alors d'être " noyée " par l'amoncellement du tartre ce qui les rend de moins en moins efficaces (schéma de gauche).



D'autre part, nous avons vu qu'en chauffant, l'eau se dilate et qu'une partie de cette eau s'écoule par la soupape du groupe de sécurité.

Cette eau entraîne des particules de tartre qui risquent parfois d'empêcher la soupape de se refermer totalement (schéma de droite), ce qui provoque alors une fuite permanente plus ou moins importante.

Comme cette fuite d'eau est remplacée par de l'eau froide, il y a alors de moins en moins d'eau chaude.

En résumé, il arrive qu'en 8 heures de chauffage en heures creuses, une résistance entartrée n'arrive pas à réchauffer l'eau du ballon à 60°C. Pour aggraver le problème, des particules de tartre peuvent coincer la soupape en position semi-ouverte.

Dans ces 2 cas, l'eau sort tiède du robinet alors qu'elle sortait très chaude lorsque le ballon était neuf.

A NOTER : Il est recommandé de tester le bon fonctionnement du groupe de sécurité tous les mois en tournant d'un quart de tour " la vanne de vidange ".

Il y a un autre avantage à cette manipulation : un gros afflux d'eau permet souvent de " nettoyer " le siège de la soupape d'éventuels résidus.

Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

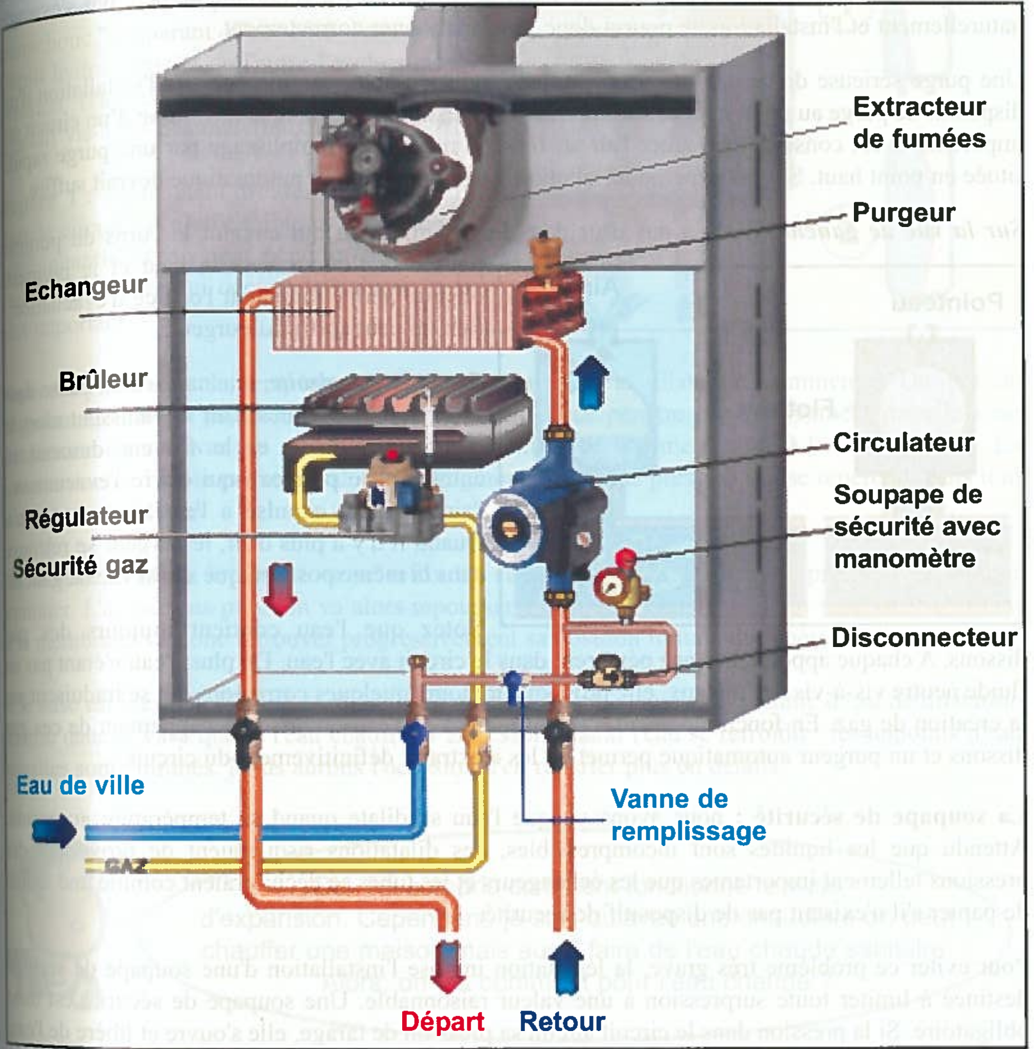
	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°31 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX
1	La dilatation de 200 litres d'eau entre 10°C et 60°C provoque une augmentation de volume d'environ 20 litres		
2	Si la pression de l'eau de ville alimentant un chauffe-eau est de 4 bar, la soupape de sécurité doit être tarée à 4 bar		
3	Le clapet anti-retour du groupe de sécurité permet d'éviter une pollution accidentelle en cas de baisse de pression du réseau d'eau de ville		
4	Si la soupape de sécurité " crache " l'eau est rejetée à l'égout par l'intermédiaire d'un siphon ajouré		
5	L'eau froide doit impérativement arriver dans le bas du ballon tandis que l'eau chaude doit être puisée dans le haut du ballon		
6	La sortie d'eau chaude se fait par l'intermédiaire d'un brise-jet		
7	Le thermostat qui commande la résistance possède un second contact intégré et non réglable qui coupe la résistance vers 65 ou 70°C		
8	S'il on mesure 220 V aux bornes de la résistance du chauffe-eau, si elle absorbe une intensité de 0 A et que l'eau est froide, soit la résistance est coupée, soit elle est en court circuit, soit elle est à la masse.		
9	Le fil de Terre est toujours bicolore vert/jaune, le Neutre est toujours de couleur bleue et la phase est généralement de couleur rouge ou noire		
10	Il est recommandé de manœuvrer périodiquement la vanne de vidange du groupe de sécurité pour tester son bon fonctionnement		

CORRIGÉ DE L'EXERCICE

1 : Faux, l'augmentation de volume est d'environ 5 litres, mais l'augmentation de pression que cela entraîne est largement suffisante pour provoquer l'éclatement du ballon ou de la tuyauterie. - 2 : Faux, dès que l'eau commencerait à s'échauffer elle se dilaterait et la soupape ouvrirait. Avec de l'eau à 4 bar, la soupape serait plutôt tarée à 8 ou 10 bar, selon la pression maximum admissible par le chauffe-eau. - 3 : Vrai, une pollution est possible dans tous les cas où la pression dans le ballon devient supérieure à la pression d'eau de ville - 4 : Vrai, et il n'est pas inutile de vérifier périodiquement que la soupape ne fuit pas continuellement. - 5 : Vrai, la densité de l'eau chaude étant inférieure à celle de l'eau froide les nappes d'eau chaudes montent tout naturellement par différence de densité (on appelle cela l'effet thermo-siphon). - 6 : Faux, c'est l'entrée d'eau froide qui doit se faire par le bas du ballon par l'intermédiaire d'un brise-jet - 7 : Vrai, c'est le cas de la plupart ds thermostats de ballon. - 8 : Faux, cela signifierait uniquement que la résistance est coupée. Si elle était en court circuit ou à la masse il ne serait pas possible de réarmer le disjoncteur et donc de mesurer 220V aux bornes de la résistance ! - 9 : Vrai, et il est très important de le savoir et de respecter ce code de couleurs. - 10 : Vrai, et cela permet de nettoyer le siège de la soupape d'éventuels dépôts de tartre.

LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE PAR UNE CHAUDIÈRE MURALE GAZ

Après avoir fait connaissance du chauffe-eau électrique, examinons le circuit hydraulique d'une petite chaudière murale permettant de chauffer de l'eau dans un échangeur par la combustion d'un gaz (de ville ou propane) dans le brûleur.



Le circulateur : il permet d'assurer le débit dans l'installation et dans l'échangeur de la chaudière. Notez qu'à l'inverse du circuit " ouvert " de remplissage de notre château d'eau, il s'agit ici d'un circuit " fermé " (pour rappel, cela signifie que l'eau n'entre pas en contact avec l'air atmosphérique et que c'est la même eau qui circule continuellement dans l'installation).

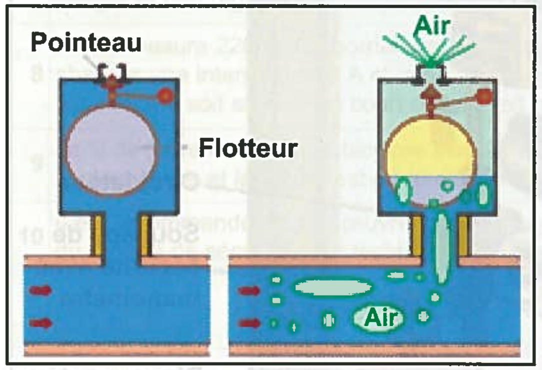
Le disconnecteur : nous avions utilisé un clapet de retenue sur notre ballon électrique afin d'empêcher l'eau " polluée " qui se trouvait dans le circuit de retourner dans le réseau d'eau de ville en risquant de provoquer une pollution accidentelle du réseau d'eau potable...

Le clapet de retenue utilisé sur notre chaudière est un modèle amélioré, appelé disconnecteur, assurant une meilleure sécurité pour empêcher toute " marche arrière " de l'eau de la chaudière vers le réseau d'eau potable. Il existe différents types de disconnecteurs hydrauliques. Leur degré de sophistication dépend des applications et de la législation, mais l'étude approfondie de leur fonctionnement sort du cadre de cet ouvrage d'initiation.

Le purgeur automatique : le montage de la chaudière étant terminé, toute l'installation est remplie d'air. Au premier remplissage en eau (par l'intermédiaire de la vanne de remplissage), l'échangeur de la chaudière étant en partie haute, l'air qui s'y est accumulé ne peut pas s'évacuer naturellement et l'installation ne pourra donc pas fonctionner correctement.

Une purge sérieuse de ce circuit fermé est donc indispensable, ce qui nécessite l'installation d'un dispositif de purge au point haut du circuit. Au passage, notez que lorsque le volume d'un circuit est important, il est conseillé d'évacuer l'air au fur et à mesure du remplissage par une purge rapide située en point haut. Sur notre petite installation, un simple purgeur automatique devrait suffire.

Sur la vue de gauche, il n'y a pas d'air dans le circuit. L'eau qui envahit le corps du purgeur pousse le flotteur vers le haut et le pointeau obstrue hermétiquement l'orifice d'évacuation : rien ne peut sortir du purgeur.

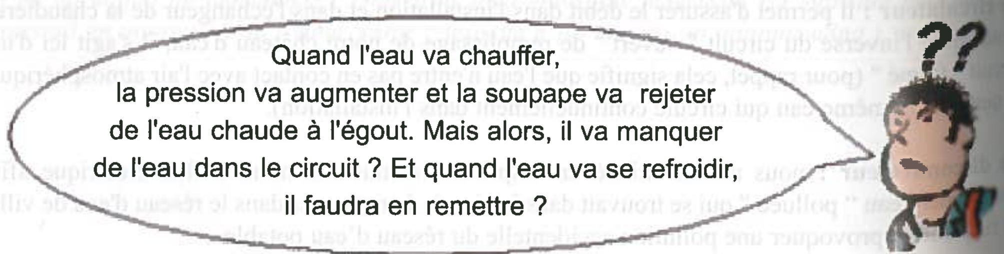


Sur la vue de droite, une nappe d'air passe dans le circuit. Les bulles d'air envahissent alors le corps du purgeur et le flotteur descend en entraînant le pointeau qui ouvre l'évacuation : l'air est alors expulsé à l'extérieur du circuit. Quand il n'y a plus d'air, le purgeur se retrouve dans la même position que sur la vue de gauche.

Notez que l'eau contient toujours des gaz dissous. A chaque appoint, ces gaz pénètrent dans le circuit avec l'eau. De plus, l'eau n'étant pas un fluide neutre vis-à-vis des métaux, elle provoque toujours quelques corrosions qui se traduisent par la création de gaz. En fonctionnement, l'échauffement de l'eau favorise l'échappement de ces gaz dissous et un purgeur automatique permet de les d'extraire définitivement du circuit.

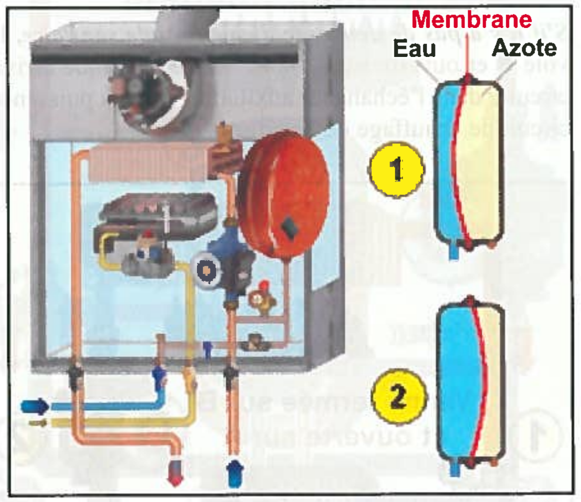
La soupape de sécurité : nous avons vu que l'eau se dilate quand sa température augmente. Attendu que les liquides sont incompressibles, ces dilatations risqueraient de provoquer des pressions tellement importantes que les échangeurs et les tubes se déchireraient comme une feuille de papier s'il n'existait pas de dispositif de sécurité.

Pour éviter ce problème très grave, la législation impose l'installation d'une soupape de sécurité destinée à limiter toute surpression à une valeur raisonnable. Une soupape de sécurité est donc obligatoire. Si la pression dans le circuit atteint sa pression de tarage, elle s'ouvre et libère de l'eau. Dès que la pression redescend en dessous de sa pression de tarage, la soupape se referme.



Alexis a raison de s'inquiéter. Une chaudière dans laquelle il faudrait rajouter de l'eau plusieurs fois par jour ne serait guère pratique ! C'est pourquoi, dans notre schéma initial, il manque un élément essentiel : le vase d'expansion.

Nous avons donc rajouté ci-contre un vase d'expansion sous pression d'azote.



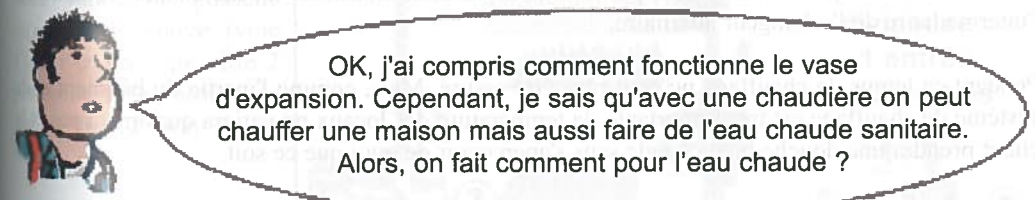
C'est un récipient métallique équipé d'une membrane souple et étanche " en caoutchouc " séparant d'un côté l'eau du circuit hydraulique et de l'autre l'azote sous pression (l'azote est un gaz neutre non agressif vis-à-vis des matériaux utilisés).

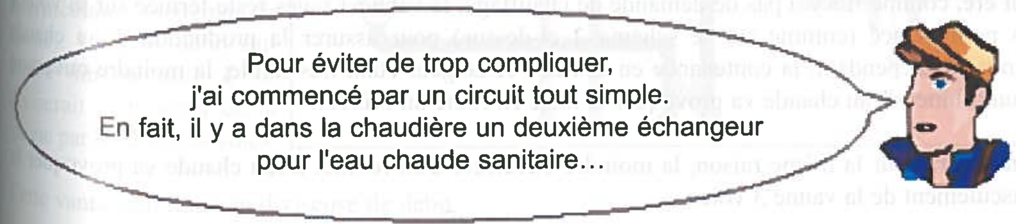
Repère 1 : L'eau étant froide, la pression dans le circuit est plutôt faible et seule une petite quantité d'eau peut pénétrer dans le vase. C'est l'azote qui occupe le volume le plus important.

Repère 2 : Lorsque la température de l'eau augmente, la dilatation commence. Du fait de l'augmentation de la pression, le volume d'eau en excès pénètre progressivement dans le vase d'expansion en incurvant sa membrane. Simultanément, le volume réservé à l'azote se réduit. La compression de l'azote provoque alors une augmentation de sa pression qui se répercute dans tout le circuit hydraulique.

Par la suite, lorsque le circuit va se refroidir, l'eau va se contracter et sa pression va vouloir diminuer. L'azote sous pression va alors repousser au fur et à mesure l'eau du vase vers le circuit et la membrane va donc retrouver progressivement sa position initiale du repère **1**.

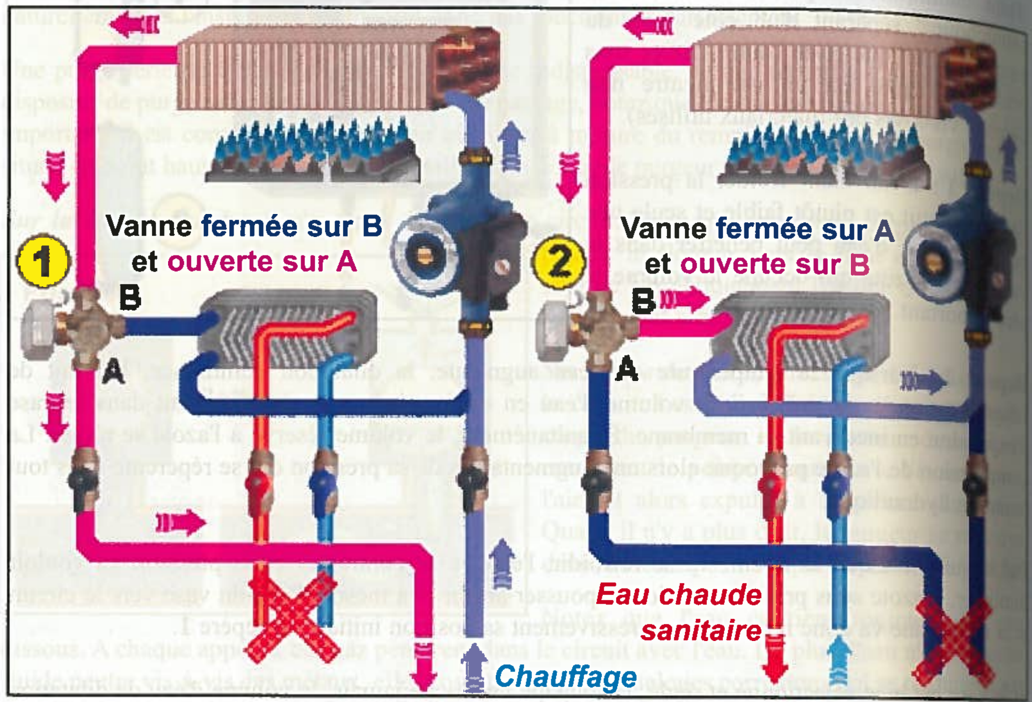
Si le vase est bien sélectionné et réglé, la soupape ne crache jamais, le volume d'eau de dilatation pénètre dans le vase quand l'eau chauffe et en ressort quand l'eau se refroidit : les appoints d'eau parasites sont éliminés. Nous aurons l'occasion d'en reparler plus en détails.





La chaudière murale ci-dessous permet effectivement d'assurer le chauffage de l'eau d'un circuit (que ce soit pour des radiateurs ou pour un plancher chauffant) mais en plus, elle assure la production d'eau chaude sanitaire par l'intermédiaire d'un petit échangeur auxiliaire.

S'il n'y a pas de demande d'eau chaude sanitaire, la vanne 3 voies (**repère 1**) est fermée sur sa voie **B** et ouverte sur sa voie **A**. L'eau chaude arrivant de l'échangeur principal ne pouvant plus circuler dans l'échangeur auxiliaire, toute la puissance fournie par le brûleur est alors transmise au circuit de chauffage de la maison.



Quand il y a une brusque demande d'eau chaude sanitaire (par exemple si le client prend une douche), la vanne 3 voies bascule et ferme sa voie **A** (**repère 2**). Simultanément, la voie B s'ouvre et toute la puissance fournie par le brûleur est alors transmise à l'eau chaude sanitaire par l'intermédiaire de l'échangeur auxiliaire.

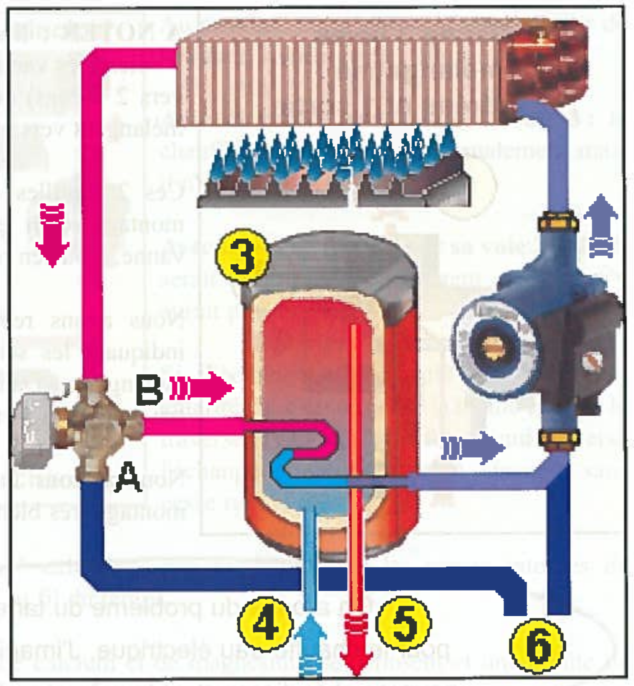
Pendant ce temps, le chauffage ne peut plus être assuré. Mais, comme l'inertie du bâtiment et du système de chauffage est très importante, la température des locaux ne variera quasiment pas et le client prendra une douche bien chaude sans s'apercevoir de quoi que ce soit.

Le rôle de la vanne 3 voies est donc de donner la priorité à l'eau chaude sanitaire.

En été, comme il n'y a pas de demande de chauffage, la vanne 3 voies reste fermée sur sa voie A en permanence (comme sur le schéma **2** ci-dessus) pour assurer la production d'eau chaude sanitaire. Cependant, la contenance en eau de l'échangeur étant très faible, la moindre ouverture d'un robinet d'eau chaude va provoquer la mise en route du brûleur.

En hiver, pour la même raison, la moindre ouverture d'un robinet d'eau chaude va provoquer le basculement de la vanne 3 voies...

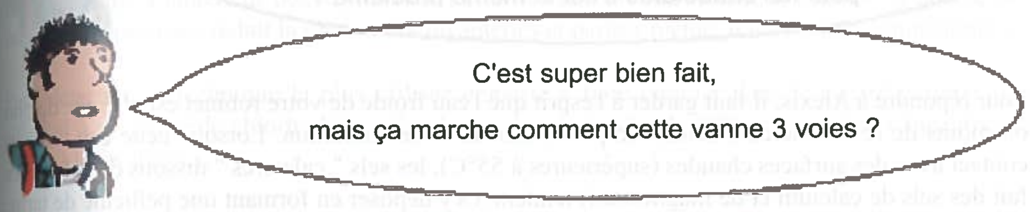
Pour éviter des démarrages trop fréquents du brûleur, ces chaudières sont souvent équipées d'un petit ballon d'eau chaude sanitaire (**repère 3**) servant de tampon.



Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, l'eau froide arrive en bas du ballon (**repère 4**) et l'eau chaude est puisée en haut du ballon (**repère 5**).

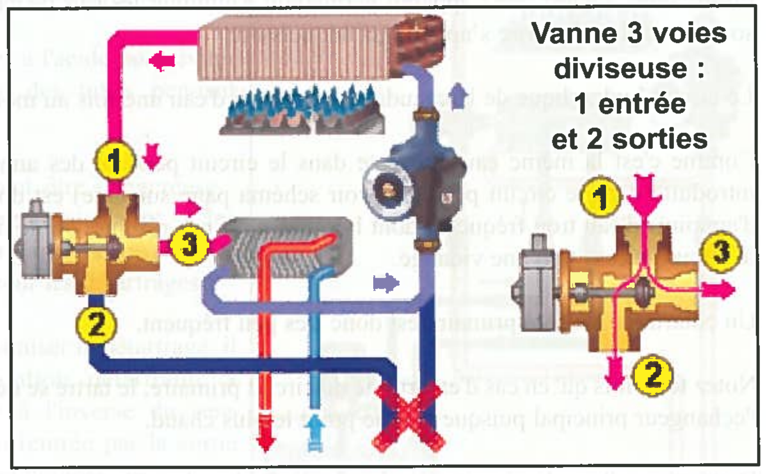
La vanne reste fermée sur **A** tant que l'eau du ballon n'est pas en température.

Si on ouvre un robinet d'eau chaude, l'eau puisée dans le haut du ballon est aussitôt remplacée par de l'eau froide et seul un refroidissement sensible de l'eau en haut du ballon provoquera le basculement de la vanne 3 voies (en hiver) ou le redémarrage du brûleur (en été).



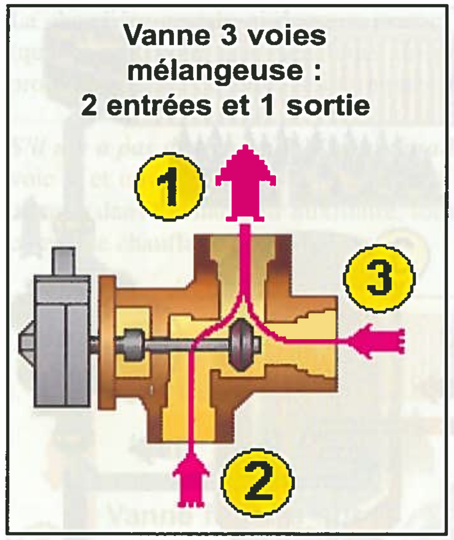
Détaillons ci-dessous le schéma d'une vanne 3 voies. Elle est représentée fermée sur sa voie **2** (et donc ouverte sur sa voie **3**), c'est-à-dire avec toute la puissance de chauffe fournie à l'eau chaude sanitaire, le circuit de chauffage de la maison étant éliminé.

Telle qu'elle est montée, cette vanne ne possède qu'une seule entrée (voie 1). Par contre, elle offre 2 possibilités de sortie, soit sur sa voie **2**, soit sur sa voie **3**.



Maintenant, imaginez que la vanne soit en position intermédiaire (schéma de droite). Le gros débit qui arrive sur la voie **1** se diviserait pour sortir de la vanne par les **2** autres voies.

Cette vanne agit donc en diviseuse de débit...

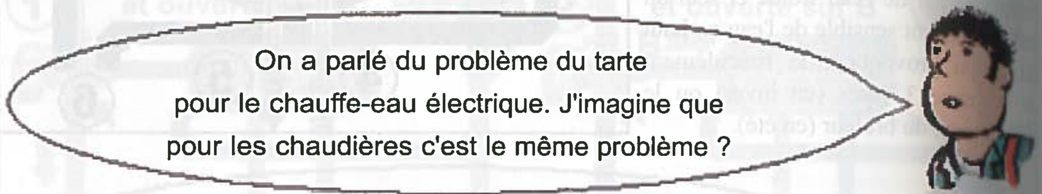


A NOTER : Il existe 2 familles principales de vannes 3 voies : les vannes diviseuses (une entrée divise le débit vers 2 sorties) et les vannes mélangeuses (2 entrées se mélangent vers une sortie unique).

Ces 2 familles offrent de nombreuses possibilités de montage selon le but recherché et la technologie de la vanne. Nous en reparlerons un peu plus tard.

Nous avons représenté ci-contre la même vanne en indiquant les sens de passage si elle était utilisée en mélangeuse. Dans ce cas, elle posséderait 2 entrées sur ses voies **2** et **3** et une seule sortie sur sa voie 1.

Nous verrons une application typique de ce type de montage très bientôt.



Pour répondre à Alexis, il faut garder à l'esprit que l'eau froide de votre robinet est chargée de plus ou moins de sels minéraux, selon l'emplacement de votre habitation. Lorsque cette eau entre en contact avec des surfaces chaudes (supérieures à 55°C), les sels " calcaires " dissous dans l'eau (en fait des sels de calcium et de magnésium) tendent à s'y déposer en formant une pellicule de tartre.

Malheureusement, le tartre est un très bon isolant thermique et lorsque son épaisseur atteint quelques mm, l'échange de chaleur devient très médiocre. C'est pourquoi dans certains endroits, l'eau est tellement calcaire qu'un traitement des eaux est quasiment indispensable. Pour information, sachez que l'appareil permettant d'éliminer les sels de calcium et de magnésium qui sont à l'origine du tartre s'appelle un adoucisseur.

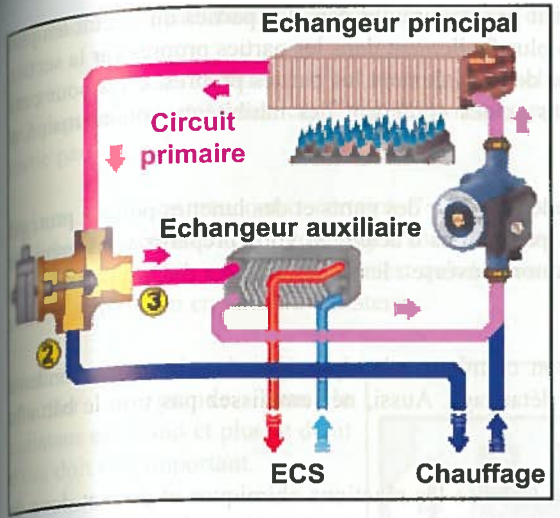
Le circuit hydraulique de la chaudière est rempli d'eau une fois au moment de la mise en service.

Comme c'est la même eau qui reste dans le circuit pendant des années, la quantité de calcaire introduite dans le circuit primaire (voir schéma page suivante) est donc très limitée, sauf en cas d'appoints d'eau trop fréquents dont la cause n'est pas résolue, ou de multiples d'interventions sur le circuit nécessitant une vidange.

Un entartrage du côté primaire est donc très peu fréquent.

Notez toutefois qu' en cas d'entartrage du circuit primaire, le tartre se déposerait principalement sur l'échangeur principal puisque c'est le point le plus chaud.

Dans ce cas, l'eau du circuit primaire ne serait plus chauffée correctement et le client se plaindrait non seulement de l'**E**au **C**haude **S**anitaire (**ECS**), mais également du chauffage.



Au passage, notez que si le servomoteur de la vanne 3 voies restait bloqué :

Avec la vanne fermée sur sa voie 3 : le chauffage fonctionnerait normalement mais il n'y aurait pas du tout d'ECS.

Avec la vanne fermée sur sa voie 2 : l'ECS serait chauffée normalement mais il n'y aurait plus de chauffage.

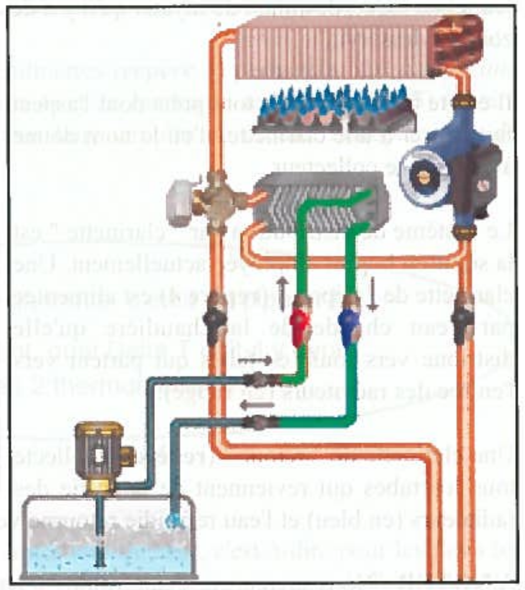
Si l'échangeur principal est rarement entartré car c'est toujours la même eau qui le traverse, l'eau sanitaire froide qui traverse l'échangeur auxiliaire est à l'inverse sans cesse renouvelée.

Elle apporte donc en permanence du " calcaire " qui se dépose sur les parois internes de l'échangeur, et ces dépôts s'accumulent au fil du temps.

Sous l'effet de la température, les sels de calcium et de magnésium se déposent et une croûte de tartre se forme à l'intérieur des tuyauteries. Le tartre étant un bon isolant, il dégrade la qualité des échanges thermiques, réduit la section des tuyauteries et parfois même, il les obstrue complètement !

Pour détartrer, la technique la plus utilisée consiste à faire circuler dans le circuit entartré une solution à base d'acide chlorhydrique. Le dosage est de l'ordre de 10%, c'est-à-dire 1 litre d'acide pour 10 litres d'eau.

Une opération de détartrage est toujours délicate : il faut détartrer suffisamment l'échangeur sans attaquer les matériaux qui le constitue. C'est pourquoi il est fortement recommandé d'utiliser des solutions détartrantes du commerce qui contiennent également des inhibiteurs de corrosion en plus de l'acide chlorhydrique.



Ces inhibiteurs sont rajoutés à l'acide pour éviter au maximum la corrosion des tubes pendant l'opération de détartrage.

Une solution détartrante peut être dangereuse : respectez toujours rigoureusement les recommandations du fabricant du produit et utilisez du matériel prévu pour les détartrages !

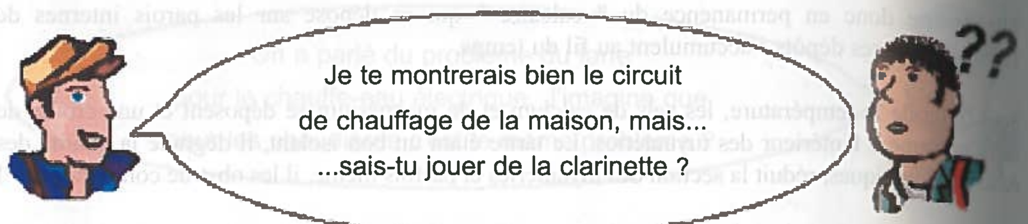
A NOTER n°1 : Afin d'optimiser le détartrage, il faut faire circuler la solution détartrante à contre-courant, c'est-à-dire à l'inverse du sens normal de passage de l'eau (entrée par la sortie d'eau chaude, voir schéma ci-contre)...

A NOTER n° 2 : La solution acide ne choisit pas de circuler dans les parties du circuit les plus entartrées. Au contraire, elle passe beaucoup plus facilement dans les parties propres car la section de passage y est plus grande : l'acide attaque donc également les parties propres. C'est pour cette raison qu'il vaut mieux utiliser des solutions acides contenant des inhibiteurs anti-corrosion et surveiller avec attention le détartrage.

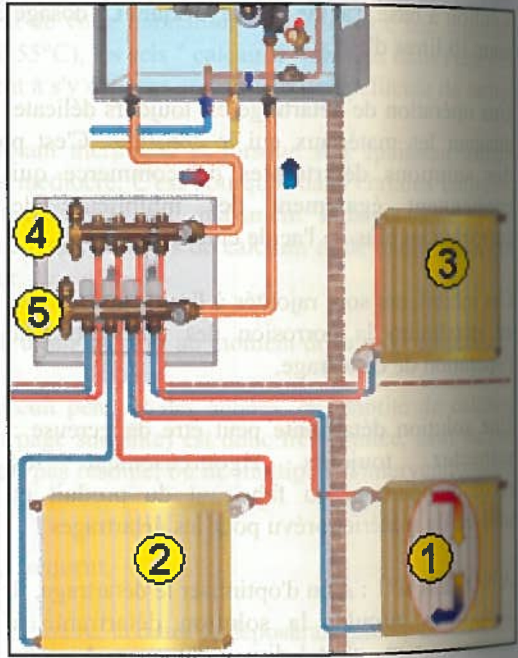
A NOTER n° 3 : Il est fortement recommandé de porter des gants et des lunettes pour se protéger des brûlures occasionnées par d'éventuelles projections d'acide. Si vous préparez vous-même la solution, versez toujours l'acide dans l'eau et non l'inverse : les éclaboussures d'acide pur sont très dangereuses.

A NOTER n° 4 : Tartre + acide = réaction chimique, c'est pourquoi une mousse abondante apparaît dans le bac au fur et à mesure du détartrage. Aussi, ne remplissez pas trop le bac afin d'éviter les débordements !

A NOTER n° 5 : L'utilisation d'eau chaude favorise les réactions chimiques et permet donc de réduire très sensiblement le temps nécessaire au détartrage.



Nicolas taquine Alexis. La distribution de l'eau dans différents radiateurs (ou différentes zones d'un plancher chauffant) se fait par des collecteurs de départ et de retour. Un collecteur n'est rien d'autre qu'un tube horizontal sur lequel on raccorde autant de tuyaux qu'il y a de zones à desservir.



Il existe des collecteurs tout prêts dont l'aspect fait penser à une clarinette, d'où le nom donné à ce type de collecteur.

Le système de distribution par " clarinette " est la solution la plus employée actuellement. Une clarinette de " départ " (**repère 4**) est alimentée par l'eau chaude de la chaudière qu'elle distribue vers tous les tubes qui partent vers l'entrée des radiateurs (en rouge).

Une clarinette de " retour " (**repère 5**) collecte tous les tubes qui reviennent de la sortie des radiateurs (en bleu) et l'eau refroidie retourne vers la chaudière.

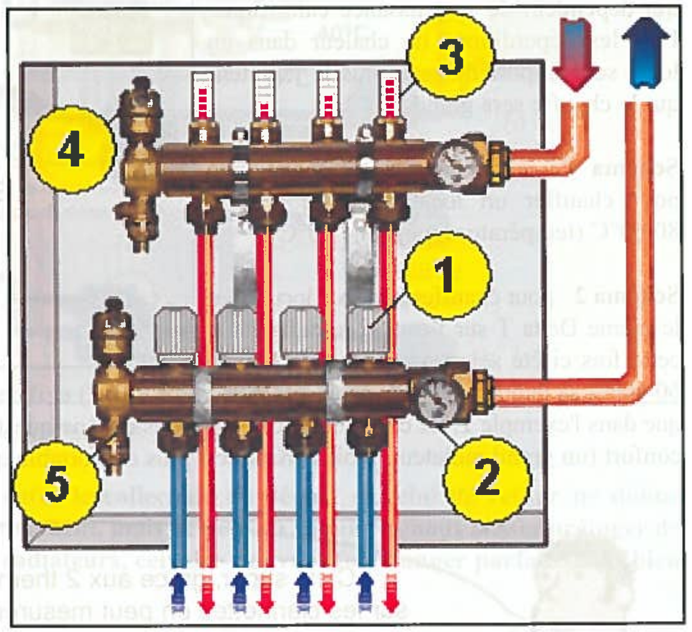
A NOTER : Nous savons que l'eau froide est plus " lourde " que l'eau chaude, c'est-à-dire qu'en se refroidissant l'eau a tendance à descendre par gravité (**repère 1**)...

En alimentant le radiateur par le haut, on respecte donc le sens naturel de l'écoulement thermique.

On peut rencontrer différents types de montage, selon la disposition des tuyauteries (montages **1** et **2** page précédente), mais ces 2 variantes respectent la règle " entrée d'eau chaude par le haut et sortie par le bas ".

De nos jours, on rencontre certains " raccords spéciaux " (montage **3** page précédente) qui facilitent le raccordement hydraulique mais peuvent donner l'impression que l'entrée et la sortie du radiateur se fait par le bas. Ce n'est qu'une fausse impression puisque dans tous les cas, l'eau chaude arrive bien en haut du radiateur.

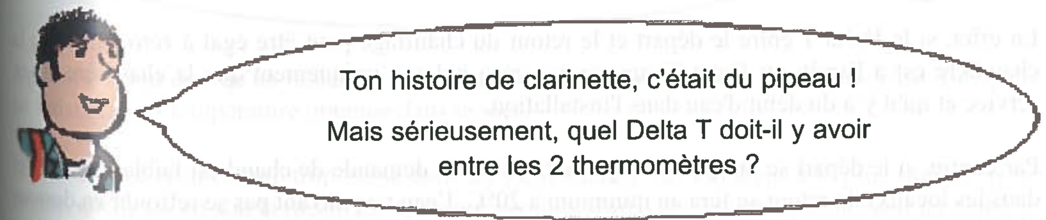
Bien entendu, plus la pièce à chauffer est grande, plus le radiateur est grand et plus le débit d'eau doit être important.



Du reste, les clarinettes sont équipées de micro-vannes (**repère 1**) permettant d'adapter le débit à la puissance des récepteurs desservis (radiateurs ou zone de plancher chauffant).

Sur les clarinettes, on installe généralement des thermomètres (**repère 2**) sur l'aller et sur le retour (néanmoins, méfiez-vous, ces thermomètres de contact sont très long à réagir à un changement de température et ils sont le plus souvent très imprécis).

Les clarinettes sont souvent équipées de petits débitmètres (**repère 3**) permettant de se *faire une idée* du débit dans chaque zone, de purgeurs (**repère 4**) et de vannes de service (**repère 5**) servant par exemple à raccorder une pompe auxiliaire pour faire circuler un produit nettoyant afin de désembouer le circuit.

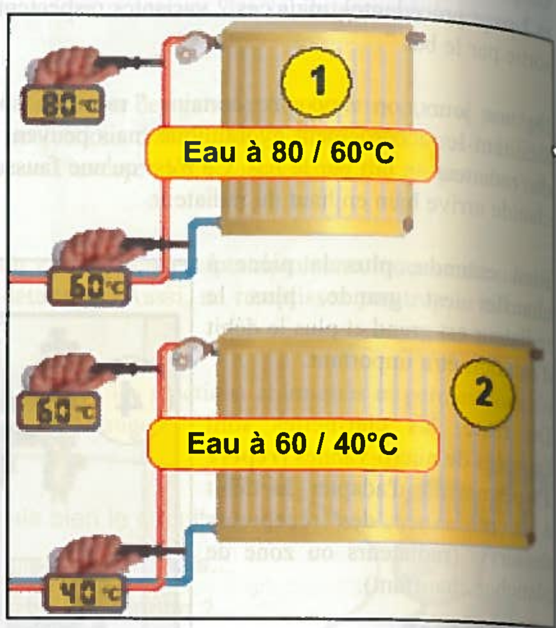


Essayons de répondre à Alexis.

On calcule une installation de chauffage pour les conditions de base, c'est-à-dire pour les jours les plus froids de l'hiver. C'est pendant ces journées très froides que la température de l'eau dans des radiateurs est la plus importante : généralement de 60°C à 80°C...

Pour chauffer une pièce, l'eau doit céder de la chaleur au radiateur. Elle en ressort donc plus froide, généralement d'environ 10°C à 20°C.

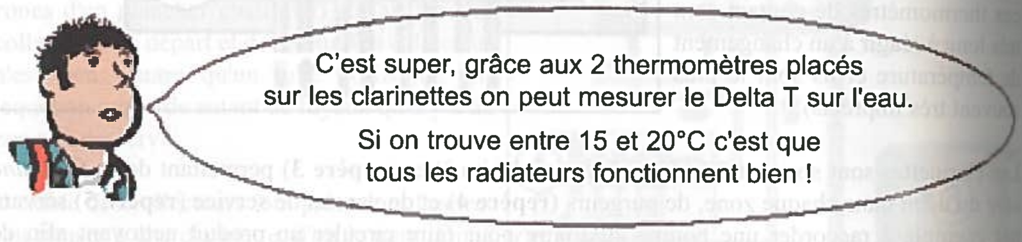
Pour apprécier le bon fonctionnement d'un radiateur, il suffit donc de mesurer la différence de température entre l'entrée et la sortie de l'eau. On considère qu'un Delta T de l'ordre de 15°C est largement satisfaisant.



A NOTER : un radiateur a des dimensions qui dépendent de sa puissance calorifique. Plus les déperditions de chaleur dans un local sont importantes et plus le radiateur qui le chauffe sera grand.

Schéma 1 : le radiateur a été sélectionné pour chauffer un local avec de l'eau à 80/60°C (température moyenne 70°C).

Schéma 2 : pour chauffer le même local avec le même Delta T sur l'eau, si le radiateur a cette fois ci été sélectionné pour de l'eau à 60/40°C, sa température moyenne sera plus faible (50°C) et il devra obligatoirement être plus grand que dans l'exemple **1**. Le choix entre ces 2 options est une question de prix, d'encombrement et de confort (un grand radiateur, moins chaud, est plus confortable qu'un petit radiateur bouillant).



Hélas, en voulant aller trop vite Alexis se trompe.

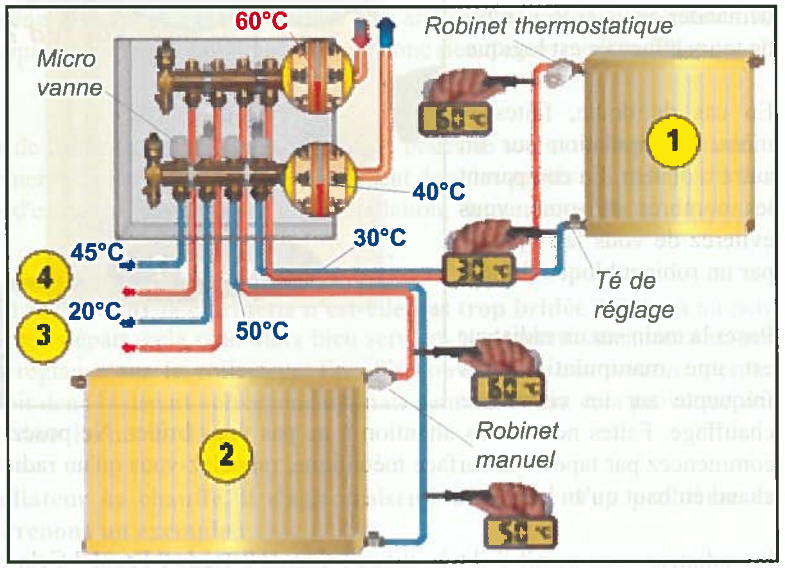
En effet, si le Delta T entre le départ et le retour du chauffage peut être égal à zéro parce que la chaudière est à l'arrêt, un Delta T supérieur à zéro indique uniquement que la chaudière est en service et qu'il y a du débit d'eau dans l'installation.

Par contre, si le départ se fait par exemple à 25°C car la demande de chaud est faible (il y a 20°C dans les locaux), le retour se fera au minimum à 20°C, l'eau ne pouvant pas se refroidir en dessous de la température des locaux. On aura donc un Delta T sur l'eau de 5°C, ce qui sera dans ce cas absolument normal.

De plus, Alexis aurait dû se méfier : chaque collecteur envoie ou reçoit de l'eau dans plusieurs zones de chauffage…

Prenons l'exemple ci-dessous avec 4 radiateurs. Le collecteur de départ indiquant par exemple 60°C, on a la certitude que chaque radiateur doit recevoir de l'eau à 60°C.

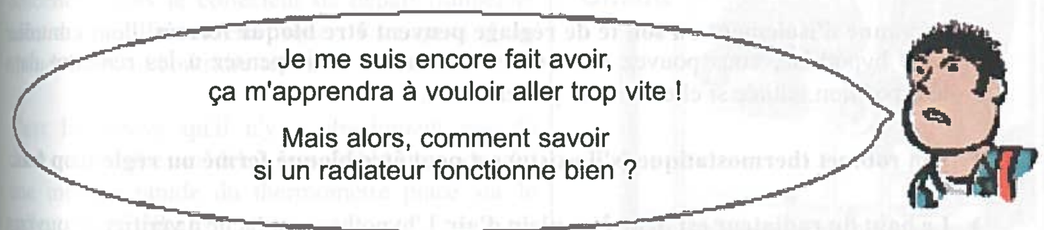
Mais, selon le matériel installé sur chacun des radiateurs et leur réglage (robinet manuel, robinet thermostatique, Té de réglage, micro-vanne de réglage de débit, etc.) le Delta T obtenu peut être très différent.



Dans l'exemple ci-contre, l'eau revient du radiateur 1 à 30°C, du radiateur **2** à 50°C, du radiateur **3** à 20°C et du radiateur **4** à 45°C.

De plus, attendu que les débits peuvent être très différents selon la taille de chacun des radiateurs, le collecteur de retour n'indique en fait que la température de mélange de ces 4 retours, c'est-à-dire la température résultante du mélange de 4 débits différents à des températures différentes.

En résumé, le Delta T mesuré entre le collecteur de départ et celui de retour ne donne qu'une idée indicative du fonctionnement, mais ne peut en aucun cas nous laisser préjuger de ce qui se passe dans chacun des radiateurs, certains pouvant fonctionner parfaitement bien et d'autres vraiment très mal.



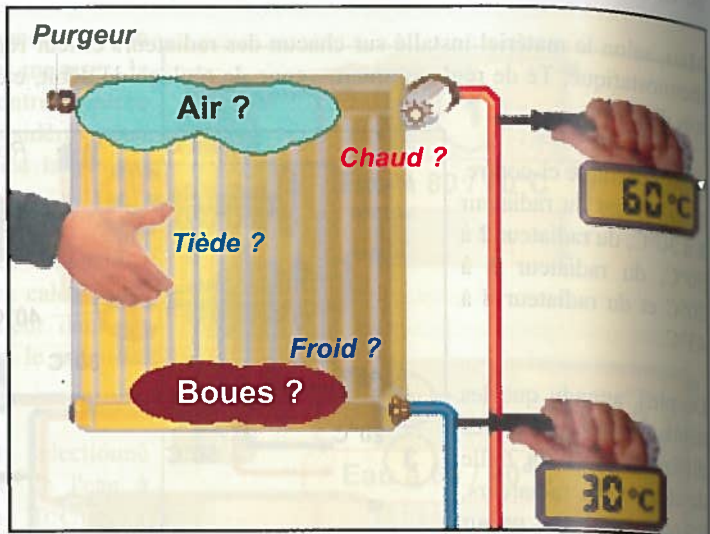
A priori, on peut dire qu'un radiateur fonctionne bien si le client ne s'en plaint pas, c'est-à-dire s'il est satisfait de la température obtenue dans le local.

Par contre, une température trop basse dans un local chauffé par radiateur a le plus souvent pour origine, quelle qu'en soit la raison, soit une température d'arrivée d'eau trop faible, soit un manque de débit d'eau.

S'il fait trop froid dans une pièce alors que la température est satisfaisante dans les autres, c'est qu'à priori la température de l'eau de départ est correcte.

Il s'agit alors généralement d'un manque de débit d'eau dont il reste à déterminer la cause…

Vérifiez l'ouverture du robinet puis passez la main sur le radiateur.



A NOTER : Pour vérifier si un robinet est bien ouvert, fermez-le à fond. Ensuite, rouvrez-le à fond et demandez-vous si le nombre de tours effectués est logique.

En cas de doute, faites la même manipulation sur un autre radiateur. En comparant les nombres de tours, vous éviterez de vous faire piéger par un robinet bloqué fermé.

Poser la main sur un radiateur est une manipulation très fréquente sur un circuit de chauffage. Faites néanmoins attention à ne pas vous brûler. Ne posez pas la main franchement, commencez par tapoter la surface métallique, rappelez-vous qu'un radiateur est normalement plus chaud en haut qu'en bas.

Le radiateur vous paraît-il très chaud ? Chaud ? Tiède ? Froid ? Cela vous semble-t-il normal en fonction de la température dans la pièce chauffée ?

Lorsqu'un radiateur est froid alors qu'il devrait chauffer, il existe de nombreuses possibilités de pannes.

Par exemple, si un seul radiateur ne chauffe pas alors que les autres sont chauds :

- **Sa vanne d'isolement ou son té de réglage peuvent être bloqué fermés.** Pour contrôler cette hypothèse, vous pouvez manœuvrer ces vannes mais pensez à les remettre dans leur position initiale si elles ne sont pas en cause.

- **Son robinet thermostatique (s'il existe) est peut être bloqué fermé ou réglé trop bas.**

- **Le haut du radiateur est peut-être plein d'air.** L'hypothèse est facile à vérifier en ouvrant légèrement le purgeur. S'il y a une forte présence d'air en haut du radiateur, il y a moins de surface d'échange, donc moins de puissance de chauffe. De plus, l'eau doit alors se frayer un passage au travers de la poche d'air prisonnière, ce qui freine le débit.

  A NOTER : Les gaz à l'origine de ce type de défaut peuvent être de l'air (emprisonné lors du remplissage du circuit), de l'azote provenant d'un vase d'expansion à la membrane fuyarde, mais aussi de gaz divers tel que l'hydrogène libéré par certaines corrosions.

  L'eau n'est en effet pas neutre vis-à-vis des métaux, principalement le fer et l'aluminium. Les phénomènes de corrosion dissolvent peu à peu le métal (le radiateur peut se percer, surtout s'il est en acier) et les gaz issus de cette corrosion, prisonniers dans l'installation, restent piégés dans les radiateurs d'où ils ne peuvent plus sortir.

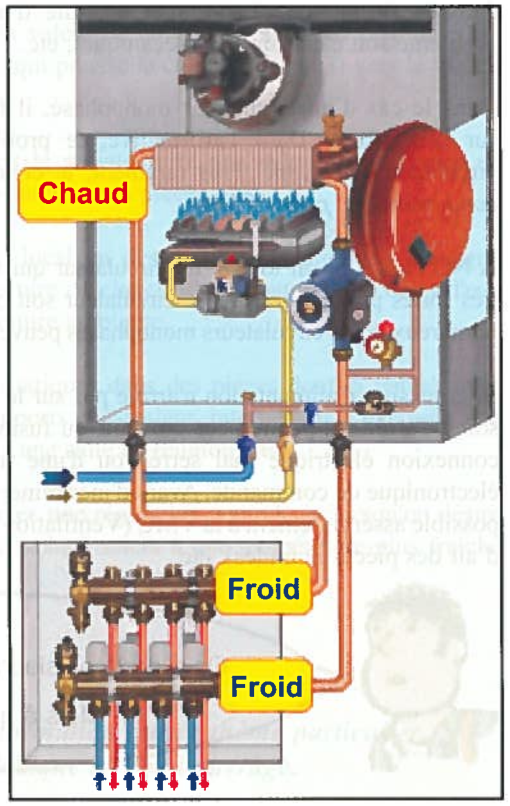
- **Le bas du radiateur est peut-être rempli de boues** issues des phénomènes de corrosion que nous venons de citer (la boue se dépose dans le bas du radiateur et obstrue plus ou moins la sortie d'eau).

  A NOTER : Ne négligeons pas le problème de l'embouage des installations. Ces boues sont la plupart du temps générées à la suite d'appoints d'eau trop fréquents. En effet, l'eau contient de l'oxygène dissous et c'est ce dernier qui attaque les métaux constitutifs de l'installation, principalement le fer. Les boues ne sont donc rien d'autre que l'installation qui part en miettes !

  Dans ce cas, il y a de fortes chances que des dépôts de boues se soient également produits dans les autres éléments de l'installation, principalement dans les points bas. Alors, s'il faut faire des appoints d'eau trop fréquents sur une installation, demandez-vous où est passée l'eau qui manque !

- **La mico-vanne de réglage sur la clarinette n'est-elle pas trop bridée ?** S'il y a un petit débitmètre sur chaque départ, cela rend alors bien service. Cependant, attention à ne pas modifier tous les réglages sur le collecteur. En effet, ouvrir une micro-vanne permet d'augmenter le débit dans le départ correspondant mais simultanément cela provoque une réduction du débit dans les autres départ.

Par contre, si aucun radiateur ne chauffe, il s'agit vraisemblablement d'un problème au niveau de la chaudière. Prenons un exemple :



Si l'eau ne circule plus, quelle qu'en soit la raison (vanne fermée, circulateur grippé, etc.), quand le brûleur se met en marche la température de l'eau dans l'échangeur va augmenter très rapidement.

Cependant, cette eau très chaude ne pourra pas descendre dans le collecteur de départ (rappelez-vous du chauffe-eau électrique : les nappes d'eau chaudes ont au contraire tendance à monter).

C'est la preuve qu'il n'y a absolument pas de débit car même un débit très faible provoquerait une montée rapide du thermomètre placé sur le collecteur de départ.

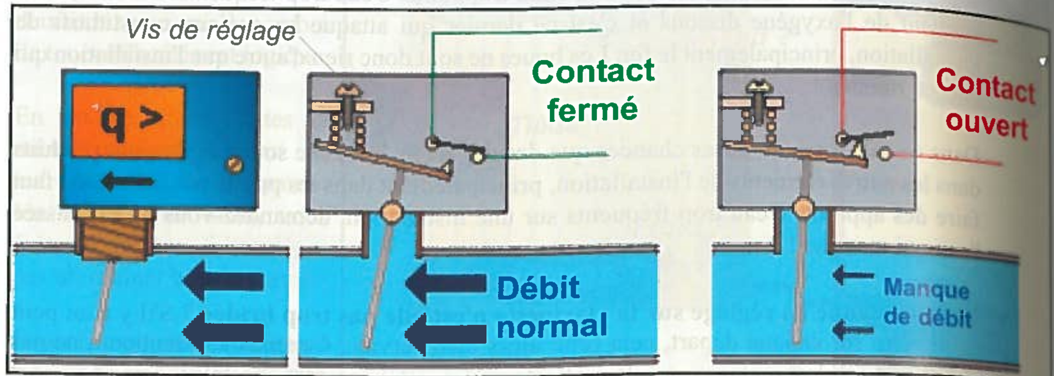
Ce problème de manque de débit est un problème grave.

En effet, le brûleur chauffe fortement l'échangeur qui, n'étant pas irrigué, risque d'être déformé par les hautes températures.

Pour éviter tout risque liés à une surchauffe accidentelle, les chaudières sont généralement équipées d'une sonde de limite haute température qui stoppe le brûleur en cas de danger...

Certaines chaudières sont également équipées d'un petit contrôleur de débit (appelé également flow-switch).

Le modèle le plus simple utilise une palette mobile installée dans le flux d'eau. Cette palette commande un contact électrique qui se ferme uniquement lorsque le débit est établi.



Tant que ce contact n'est pas fermé, le brûleur ne peut pas fonctionner.

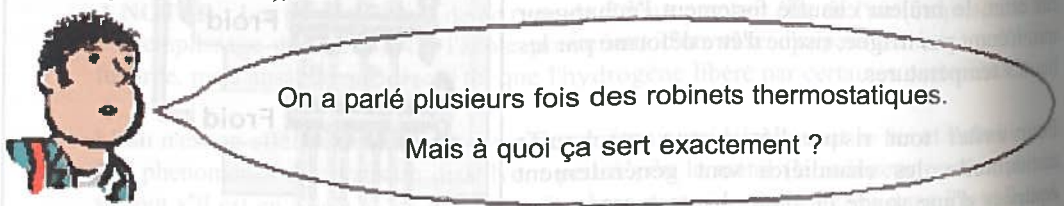
Notez que la vis de réglage permet de bander plus ou moins le ressort. Plus le ressort est bandé et plus le débit devra être important pour faire basculer la palette et fermer le contact.

Un manque de débit d'eau peut avoir de nombreuses origines : une vanne fermée, un manque d'eau dans le circuit, une importante quantité d'air, un circulateur qui ne fonctionne pas (que le problème soit électrique ou mécanique), etc.

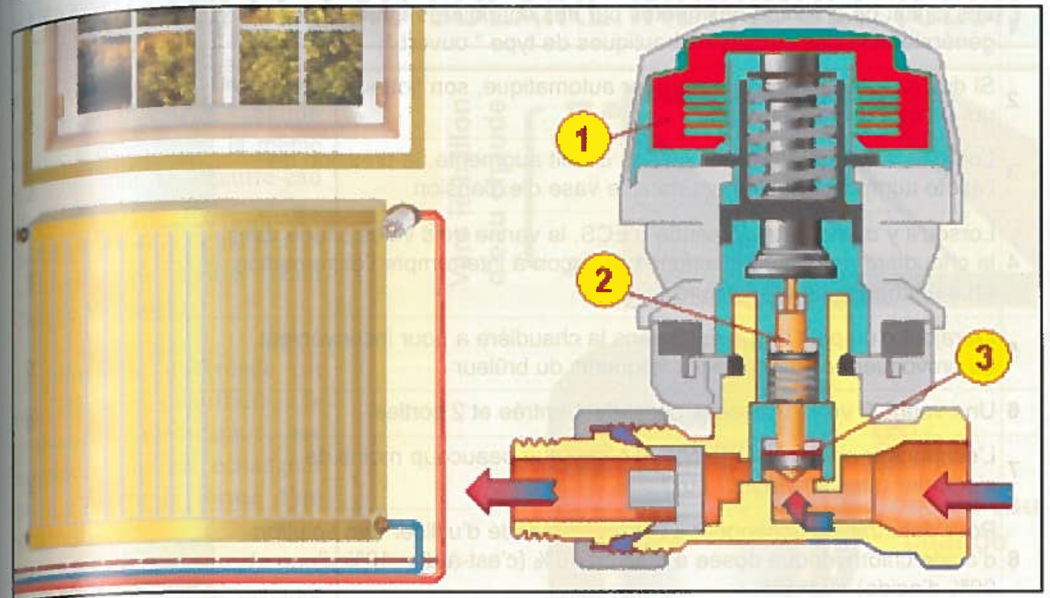
Dans le cas d'un circulateur monophasé, il faut vérifier si la tension de 220 Volts arrive bien sur ses bornes. Dans l'affirmative, le problème est généralement d'origine mécanique : le circulateur est grippé. Plus rarement, le condensateur de marche est défectueux (*voir test des condensateurs, page 372*).

A NOTER : Si on touche un circulateur qui est " chaud " alors que l'eau est " froide ", il y a de très fortes probabilités que le circulateur soit bloqué (rappelez-vous que, bien qu'étant grippés, de nombreux petits circulateurs monophasés peuvent rester sous tension très longtemps sans disjoncter).

Si la tension d'alimentation n'arrive pas sur le bornier du circulateur, il est tout à fait normal qu'il soit à l'arrêt. La panne peut provenir du fusible (ou du disjoncteur) qui protège l'appareil, d'une connexion électrique mal serrée ou d'une interdiction de démarrer provoquée par la platine électronique de commande. Avant d'incriminer la platine, pensez au thermostat de surchauffe, à un possible asservissement à la VMC (Ventilation **M**écanique **C**ontrôlée qui permet le renouvellement d'air des pièces humides), etc.



Pour répondre à Alexis, nous avons représenté ci-dessous l'alimentation hydraulique d'un radiateur régulé par un robinet thermostatique.



La tête du robinet est équipée d'une capsule thermostatique (**repère 1**) réglable qui se dilate lorsque la température ambiante augmente (et qui se contracte par baisse de la température ambiante).

Par exemple, si la température ambiante dépasse la valeur de consigne réglée sur le robinet, la dilatation de la capsule agit sur le piston (**repère 2**) qui pousse le clapet (**repère 3**) vers le bas en étranglant la section de passage de l'eau.

Cet étranglement réduit le débit d'eau chaude dans le radiateur, ce qui réduit sa puissance de chauffe et entraîne donc une diminution de la température de la pièce.

A l'inverse, une diminution de la température du local en dessous de la valeur de consigne provoque une contraction de la capsule et une ouverture du clapet. L'augmentation de débit d'eau chaude qui en résulte permet de remonter la température ambiante.

A NOTER : on peut installer ces robinets thermostatiques dans des pièces dont la température risque d'augmenter fortement lorsqu'il y a des apports de chaleur internes (par exemple des fenêtres ensoleillées, de nombreuses personnes dans une salle de réunion, etc.).

Ils sont également souvent utilisés conjointement avec une régulation centralisée lorsqu'on désire que certaines pièces (par exemple les chambres à coucher) soient à une température plus fraîche que les autres pièces de l'habitation.

Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

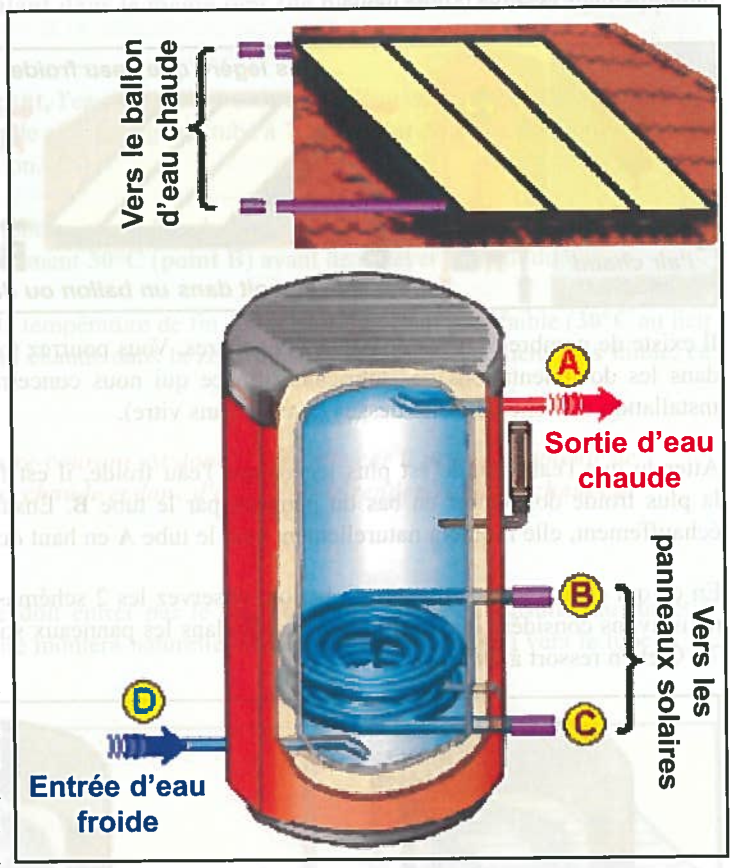
	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°32 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX
1	Les circuit de chauffage alimentés par des chaudières murales sont généralement des circuits hydrauliques de type " ouvert "		
2	Si de l'air pénètre dans un purgeur automatique, son flotteur monte, ce qui permet d'évacuer cet air		
3	Lorsque la température de l'eau du circuit augmente, la pression de l'azote augmente également dans le vase d'expansion		
4	Lorsqu'il y a une forte demande d'ECS, la vanne trois voies située dans la chaudière murale se positionne de façon à interrompre l'alimentation en eau chaude des radiateurs		
5	Le rajout d'un petit ballon ECS dans la chaudière a pour inconvénient de provoquer des démarrages fréquents du brûleur		
6	Une vanne 3 voies diviseuse possède 1 entrée et 2 sorties		
7	L'échangeur principal de la chaudière risque beaucoup moins de s'entarter que l'échangeur auxiliaire		
8	Pour détartrer un échangeur il est recommandé d'utiliser une solution d'acide chlorhydrique dosée à environ 10% (c'est-à-dire 10% d'eau et 90% d'acide)		
9	Pour éviter les éclaboussures très dangereuses d'acide, il faut toujours verser l'acide dans l'eau et non l'inverse		
10	Sur les clarinettes, si les thermomètres indiquent un départ eau chaude à 60°C et un retour à 45°C on peut dire que tous les radiateurs fonctionnent correctement		

CORRIGÉ DE L'EXERCICE

VRAI	FAUX

1 : Faux, L'eau circulant dans des radiateurs ou dans les tubes d'un chauffage par le sol n'est jamais en contact avec l'air atmosphérique. C'est donc typiquement un circuit fermé.. - 2 : Faux, c'est au contraire la descente du flotteur qui permet d'évacuer l'air. - 3 : Vrai, l'eau de dilatation pénètre dans le vase ce qui repousse la membrane et comprime l'azote, ce qui augmente sa pression. - 4 : Vrai, c'est la production d'ECS qui est prioritaire. - 5 : Faux, au contraire le ballon d'ECS permet de limiter la fréquence des démarrages - 6: Vrai, et une vanne 3 voies mélangeuse possède 2 entrées et une seule sortie. - 7 : Vrai, l'échangeur auxiliaire servant à chauffer l'ECS, celle-ci est constamment renouvelée en apportant en permanence du " calcaire ". - 8 : Faux, c'est bien sûr l'inverse, il faut 10% d'acide dans 90% d'eau. - 9 : Vrai, contrairement à ce que beaucoup de personnes pensent, ce n'est pas le liquide qu'on verse qui gicle mais le liquide " immobile ". - 10 : Faux, la température de retour mesurée étant le mélange de plusieurs débits différents à des températures différentes, on ne peut absolument rien affirmer.

LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE PAR UN CHAUFFE-EAU SOLAIRE INDIVIDUEL (CESI)



Tout d'abord, il faut bien comprendre qu'un ballon solaire a exactement la même fonction que le chauffe-eau électrique que nous avons étudié *page 461* : chauffer et accumuler de l'ECS (Eau Chaude Sanitaire).

La principale différence est son élément chauffant : la résistance électrique est remplacée par un échangeur qui a souvent la forme d'un serpentin.

C'est le fluide chaud arrivant des panneaux solaires qui circule à l'intérieur de cet échangeur.

Le fluide circulant à l'intérieur du serpentin étant plus chaud que l'eau sanitaire qui l'entoure, il lui cède de la chaleur puis, s'étant refroidi, il remonte vers les panneaux solaires pour récupérer à nouveau la chaleur gratuite du soleil.

L'eau sanitaire se trouve à l'extérieur de l'échangeur, dans le gros volume du ballon, ce qui permet de " stocker " de l'eau chaude, exactement comme un ballon électrique.

Le serpentin utilisé pour chauffer l'eau sanitaire est donc raccordé aux panneaux solaires (**repères B et C**). Lors de notre étude du chauffe-eau électrique, nous avons vu que l'eau chaude étant plus légère que l'eau froide, elle monte lentement vers le haut du ballon au fur et à mesure qu'elle se réchauffe. C'est pourquoi, comme avec un ballon électrique, la sortie d'eau chaude sanitaire doit se faire obligatoirement en haut du ballon (**repère A**) et l'entrée d'eau froide en bas (**repère D**).



Sur le serpentin du ballon et sur les panneaux solaires, j'imagine que l'entrée d'eau doit être en bas et la sortie en haut ?

Êtes-vous d'accord avec Alexis ?

Hélas, Alexis n'a raison que pour un seul des deux échangeurs. *Savez-vous pourquoi ?*

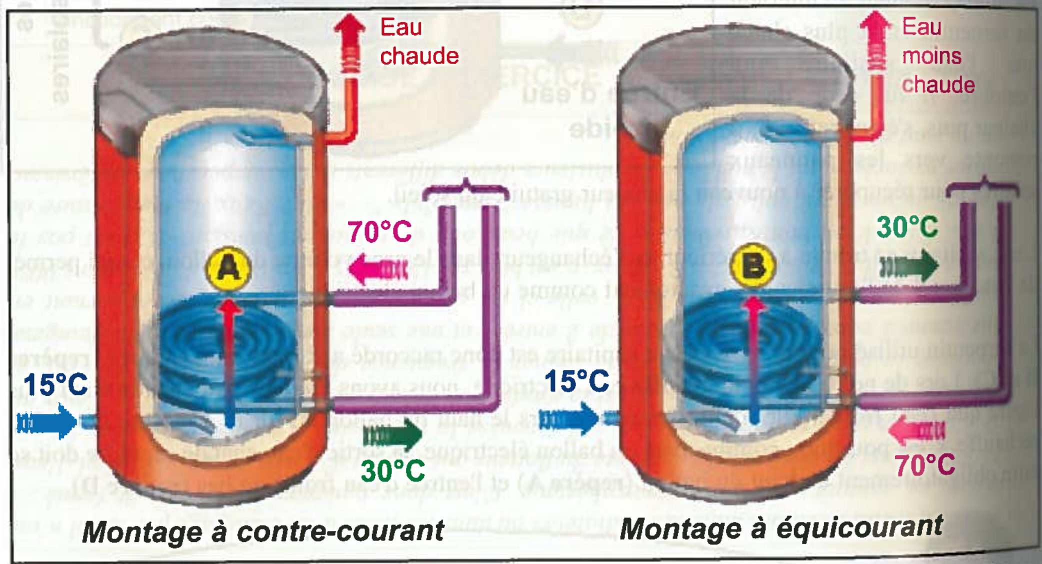
Nous avons déjà vu que l'air chaud est plus léger que l'air froid et que l'eau chaude est plus légère que l'eau froide (**repère 1**). C'est pourquoi les nappes d'eau chaudes (**repère 2**) se déplacent naturellement vers les points hauts.



Il existe de nombreux types de panneaux solaires. Vous pourrez trouver leur description détaillée dans les documentations des fabricants. En ce qui nous concerne, le modèle utilisé sur notre installation est schématisé ci-dessus (avec et sans vitre).

Attendu que l'eau chaude est plus légère que l'eau froide, il est facile de comprendre que l'eau la plus froide doit entrer en bas du panneau par le tube **B**. Ensuite, au fur et à mesure de son échauffement, elle montera naturellement vers le tube **A** en haut du panneau.

En ce qui concerne le serpentin du ballon, observez les 2 schémas ci-dessous (à titre d'exemple, nous avons considéré que le fluide réchauffé dans les panneaux solaires entre dans le serpentin à 70°C et en ressort à 30°C).



Sur la vue de gauche, le fluide chaud provenant des panneaux solaires pénètre par **LE HAUT** du serpentin et en ressort par **LE BAS**. L'eau sanitaire pénètre par **LE BAS** du ballon et en ressort par **LE HAUT**.

Pour rappel, ce type d'échange de chaleur avec les 2 fluides circulant en sens inverse (l'un de haut en bas et l'autre de bas en haut) s'appelle un montage à contre-courant.

Sur la vue de droite de la page précédente, le fluide chaud des panneaux pénètre par **LE BAS** du serpentin et en ressort par **LE HAUT**. Comme précédemment, l'eau sanitaire pénètre par **LE BAS** du ballon et en ressort par **LE HAUT**.

Cette fois-ci, les 2 fluides circulant dans le même sens (de bas en haut), le montage s'appelle à équicourant.

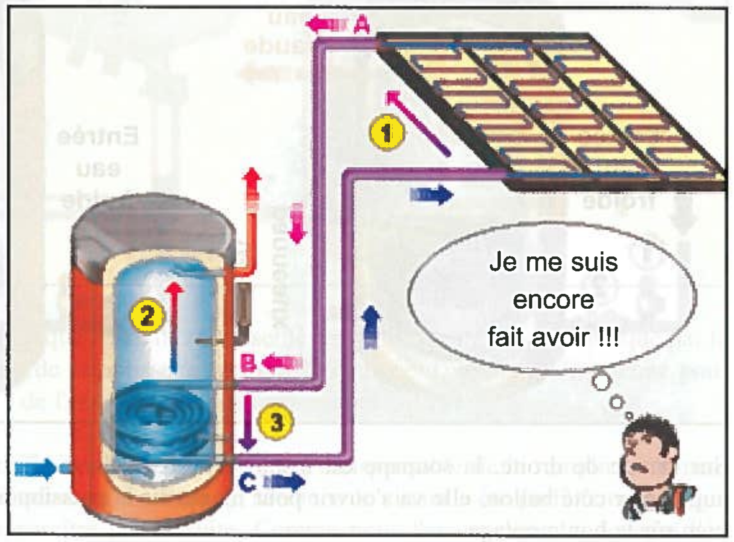
Avec le **montage à contre-courant,** l'eau sanitaire froide qui s'élève en se réchauffant au contact du serpentin va rencontrer en fin de réchauffage un tube à 70°C (**point A**) avant de monter dans la zone de stockage en haut du ballon.

Avec le **montage équicourant** (entrée par le bas du serpentin comme préconisé par Alexis) l'eau sanitaire rencontre un tube à seulement 30°C (**point B**) avant de s'élever en haut du ballon.

Il est facile de comprendre que la température de fin de réchauffage étant plus faible (30°C au lieu de 70°C), la température de l'eau chaude dans la zone de stockage sera également plus faible, ce qui n'est pas le but recherché.

Le montage à contre-courant est donc préférable car il permet d'obtenir de l'eau sanitaire plus chaude et donc d'améliorer le rendement de l'échangeur de chaleur.

En résumé, l'eau la plus froide doit entrer par le bas du panneau solaire. Ensuite, au fur et à mesure de son échauffement, elle montera naturellement (**repère 1** ci-dessous) vers le tube **A** en haut du panneau.

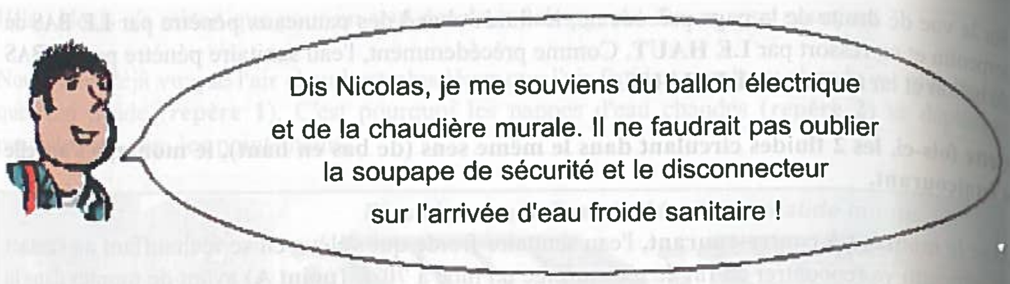


Nous savons que l'eau froide sanitaire pénètre par le bas du ballon et que sous l'effet du réchauffement procuré par le serpentin, elle s'élève (**repère 2**) vers le haut du ballon.

Le fluide chaud arrivant des panneaux solaires qui pénètre dans le serpentin se refroidit en cédant de la chaleur à l'eau sanitaire. En se refroidissant, ce fluide devient plus lourd et a donc tendance à descendre (repère 3).

C'est pourquoi, afin de ne pas contrarier le sens de circulation naturel du fluide dans le serpentin et dans les panneaux, l'entrée du fluide dans le serpentin du ballon doit de faire en **B.**

A NOTER : Dans tous les cas, pour obtenir un fonctionnement sans problème et bénéficier de la garantie, suivez rigoureusement les instructions de montage du fabricant des panneaux.

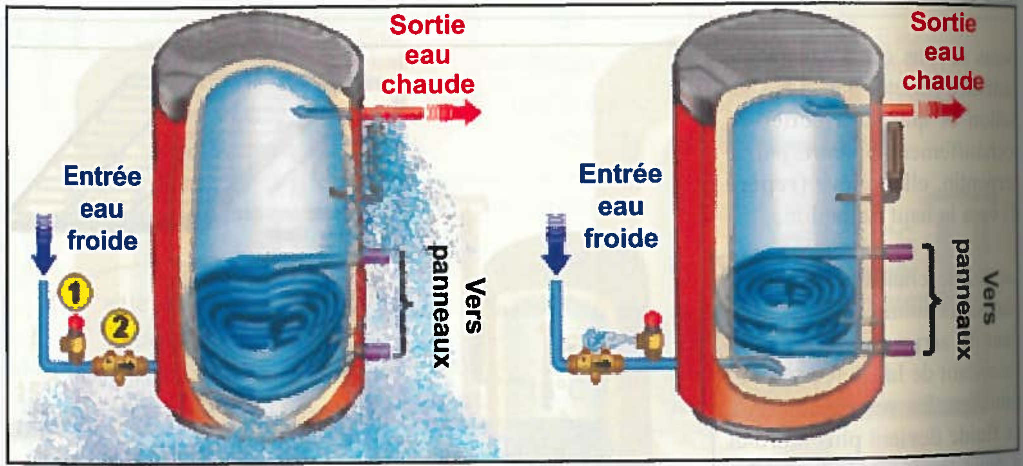


Alexis a raison. Pour rappel, un disconnecteur est un clapet de retenue sophistiqué destiné à empêcher toute " marche arrière " de l'eau du ballon vers le réseau d'eau potable.

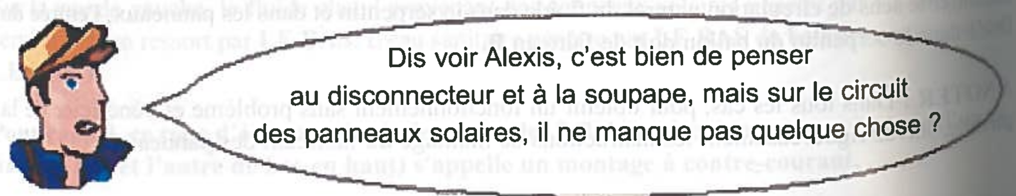
Quant à la soupape, nous avons déjà vu que l'eau se dilate d'environ 2,5% entre 10°C et 60°C. Pour un ballon de 300 litres, cela représente un volume de dilatation de 300 x 2,5 / 100 = 7,5 litres !

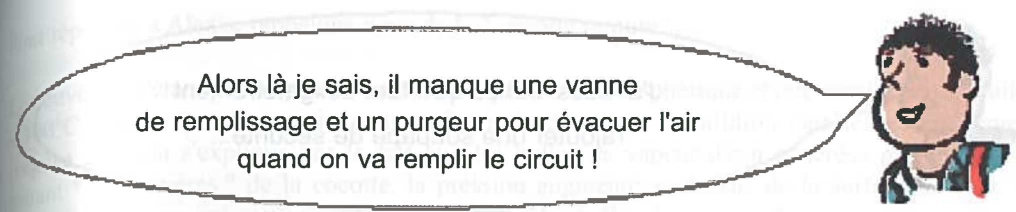
L'eau étant incompressible, lorsque la température augmente dans un circuit fermé et étanche tel que notre ballon, les pressions peuvent dans certains cas monter à plus de 1000 bar. Aucun ballon ni aucune tuyauterie ne pourraient résister à cette énorme pression, d'où l'absolue nécessité d'installer cette soupape.

Alors, attention à l'emplacement de la soupape (**repère 1**). Sur la vue de gauche, elle est installée en amont du disconnecteur (**repère 2**). Elle est donc soumise à la pression de l'eau de ville. Quand l'eau va chauffer et que la pression va augmenter côté ballon, le disconnecteur étant hermétiquement fermé, la soupape va continuer de mesurer la pression de l'eau de ville sans réagir, jusqu'à ce qu'un élément cède sous l'effet de la pression qui augmente dans le ballon !



Sur la vue de droite, la soupape est installée à droite du disconnecteur. Quand la pression va augmenter côté ballon, elle va s'ouvrir pour maintenir la pression à une valeur raisonnable. C'est bien sûr le bon montage.

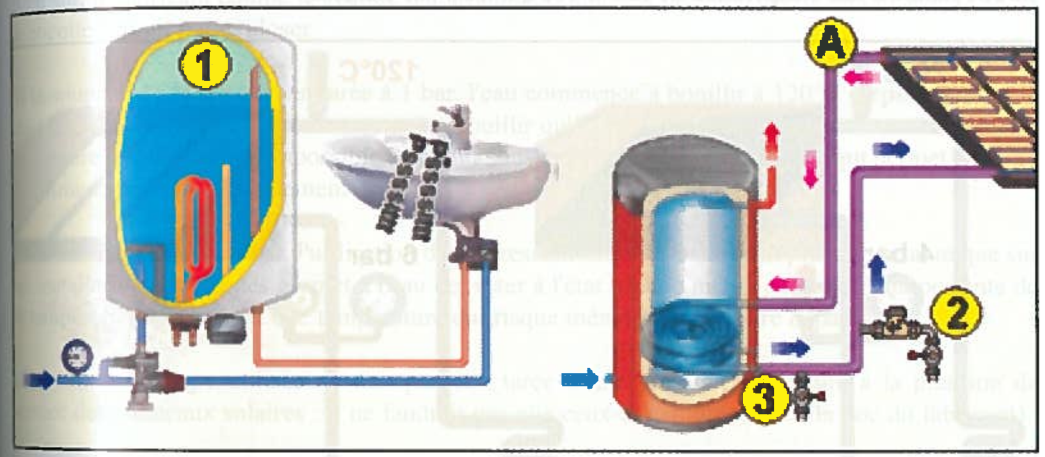




Rappelez-vous : lors du remplissage du ballon électrique, l'air se piégeait en haut du ballon (**repère 1**). La contre-pression due à cet air comprimé empêchait l'eau de le remplir complètement. Pour achever le remplissage, il était indispensable d'ouvrir le mitigeur du lavabo sur l'eau chaude afin de permettre l'évacuation de l'air prisonnier en haut du ballon, seul moyen de le remplir complètement d'eau.

Le même problème de purge va se produire lors du remplissage du circuit des panneaux solaires. L'air va monter vers le haut de l'installation, se piéger dans les panneaux et empêcher le remplissage complet du circuit. On comprend facilement que si les panneaux sont remplis d'air l'installation ne pourra pas fonctionner correctement !

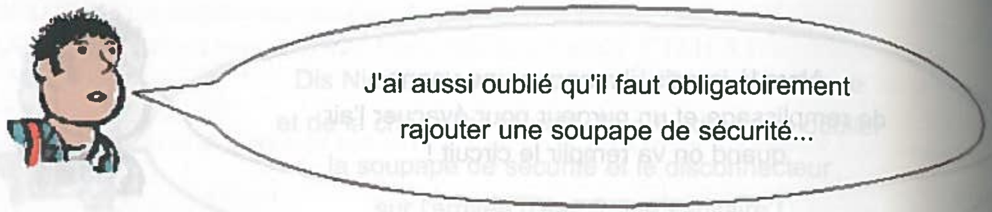
Une purge sérieuse de ce circuit 'fermé' est donc indispensable, ce qui nécessite l'installation d'un dispositif de purge au point haut du circuit. Pour notre petite installation, un simple purgeur automatique (*étudié page 472*) placé au point le plus haut (repère **A**) devrait pour l'instant suffire.



A NOTER : L'air étant plus léger que l'eau, il est conseillé de remplir le circuit hydraulique par le bas. C'est l'objectif de la vanne de remplissage (**repère 2**) équipée d'un clapet de retenue pour empêcher tout " retour arrière " de l'eau du circuit des panneaux.

Pour purger le circuit le plus efficacement possible, il est indispensable de le remplir lentement (évitez d'ouvrir la vanne de remplissage " à fond "). Même si le circuit a été parfaitement purgé, des nappes de gaz peuvent apparaître par la suite. Comme nous l'avons déjà dit, lorsque l'on chauffe de l'eau, il se crée un dégazage de l'air dissous dans cette eau. De plus, certaines réactions chimiques complexes entre l'eau et les matériaux du circuit peuvent également générer des gaz.

Enfin, n'oublions pas que s'il est un jour nécessaire de vidanger le circuit pour une opération de maintenance, une vanne de vidange (**repère 3**) doit être placée le plus bas possible.

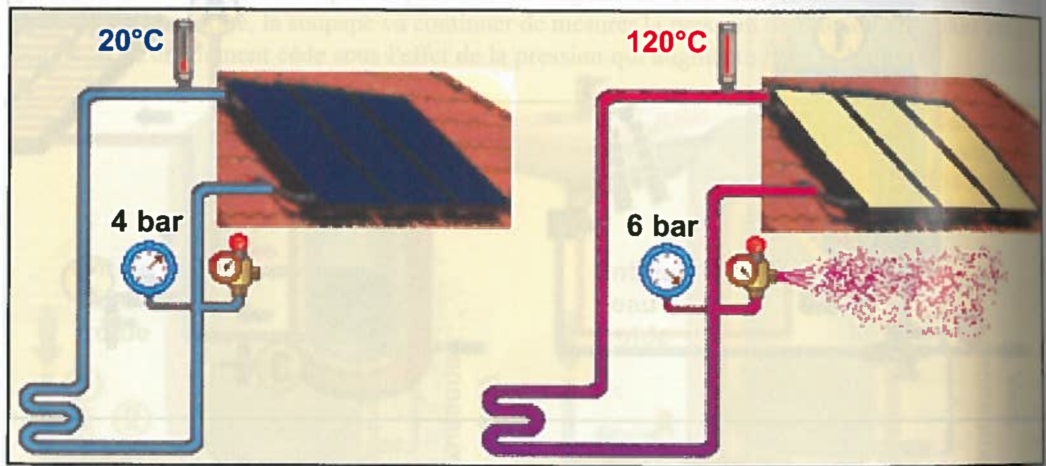


En effet, répétons une nouvelle fois qu'en chauffant de l'eau de 10 à 60°C, elle se dilate d'environ 2,5%. Admettons un circuit solaire avec un petit volume interne de 20 litres.

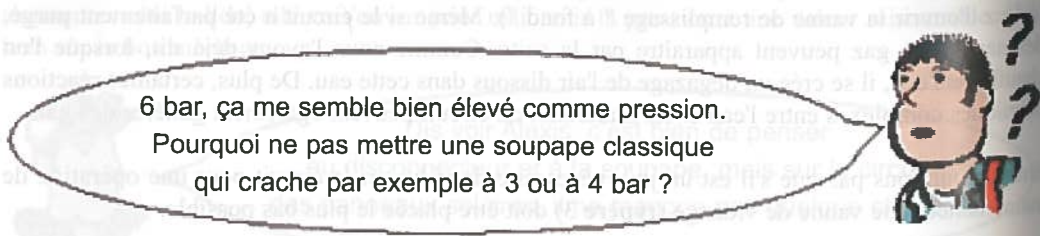
En passant de 20 à 60°C, l'eau se dilate de 20 x 2,5 / 100 = 0,5 litres. L'eau étant incompressible, la pression peut alors monter à plus de 1000 bar ! Aucun échangeur, aucune tuyauterie utilisée dans ces circuits ne pourraient résister à une telle pression.

C'est précisément le rôle de la soupape de sécurité de limiter la pression à l'intérieur du circuit à une valeur admissible sans risque pour ses composants (panneaux solaires, échangeurs, tubes, raccords, etc.).

Sur la vue de gauche, les panneaux solaires sont à l'ombre. Le circuit est plein d'eau à 20°C et la pression au piquage de la soupape est de 4 bar. A droite, les panneaux sont en plein soleil et l'eau se réchauffe très fortement (c'est le but recherché !). Admettons que cette eau ne circule pas et qu'elle monte à une température de 120°C (ce qui n'est pas exagéré).



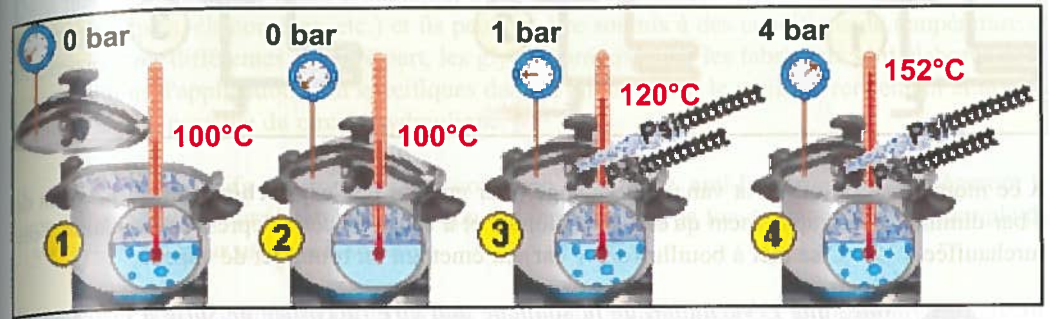
Sous l'effet de la dilatation de l'eau, la pression à l'intérieur du circuit commence alors rapidement à augmenter jusqu'à atteindre 6 bar, pression correspondant au tarage de la soupape. A ce moment, la soupape crache pour limiter la montée de pression à sa valeur de tarage, ce qui est absolument normal !



Pour répondre à Alexis, rappelons-nous de la " cocotte minute ".

Le couvercle n'étant pas en place, l'eau est à la pression atmosphérique et elle commence à bouillir à 100°C (**repère 1**). A ce moment, si on ferme le couvercle, l'ébullition s'arrête très rapidement (**repère 2**). Cela s'explique par le fait que les bulles de vapeur d'eau générées par l'ébullition restant " prisonnières " de la cocotte, la pression augmente au-dessus de la surface de l'eau en exerçant une force qui appuie sur l'eau et empêche les bulles de vapeurs de sortir.

Plus la pression est élevée et plus la température d'ébullition augmente (c'est la relation pression température de l'eau étudiée *page 40*).



Bien sûr, le fabricant équipe la cocotte d'une soupape, sinon la pression augmenterait sans cesse et la cocotte finirait par exploser.

Si la soupape de la cocotte est tarée à 1 bar, l'eau commence à bouillir à 120°C (**repère 3**), si elle était tarée à 4 bar, l'eau ne commencerait à bouillir qu'à 152°C (**repère 4**) : c'est cette température supérieure à 100°C (donc impossible à obtenir sous la pression atmosphérique) qui permet de cuire les aliments bien plus rapidement.

Dans nos panneaux solaires, l'utilisation d'une pression de fonctionnement plus importante que sur les installations classiques permet à l'eau de rester à l'état liquide même par montée importante de la température (120°C est une température qui risque même parfois d'être dépassée).

Bien sûr, la soupape utilisée ne doit pas être tarée à une pression supérieure à la pression de service des panneaux solaires : il ne faudrait pas que ceux-ci explosent (voir la doc du fabricant).

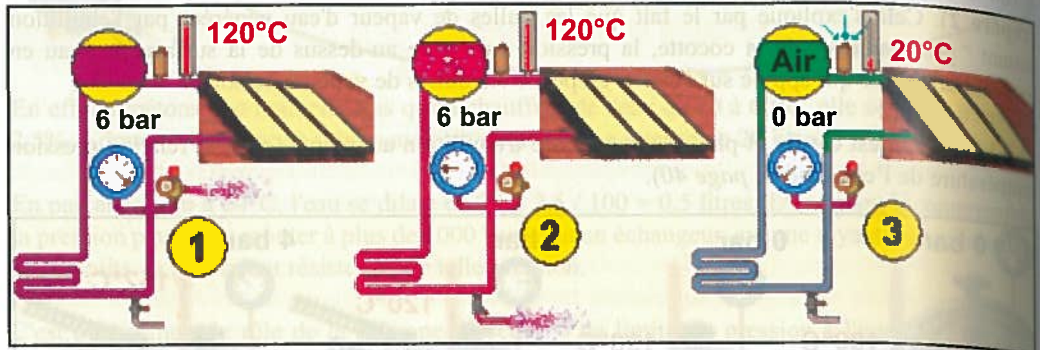
A NOTER : On appelle eau surchauffée de l'eau restant à l'état liquide à une température supérieure à 100°C (à titre informatif, pour surchauffer de l'eau à 200°C il faudrait lui appliquer une pression minimum de 14,5 bar).

ATTENTION : de l'eau surchauffée à 120°C sous une pression de 6 bar peut occasionner de très graves brûlures en cas de fausse manœuvre, alors soyez très vigilants !

Rappelez-vous que les liquides étant incompressibles il suffit d'une petite quantité d'eau de dilatation pour provoquer une énorme surpression.

C'est pourquoi la pression peut monter très rapidement dans un circuit solaire à cause des températures très importantes qui peuvent se produire dans les panneaux.

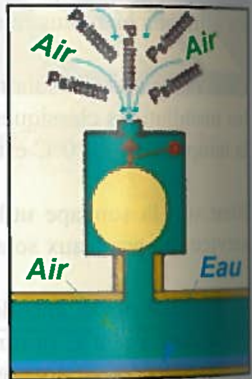
Nous savons maintenant pourquoi, grâce à une pression maximum de 6 bar maintenue par la soupape, l'eau surchauffée à 120°C dans les panneaux solaires reste à l'état liquide, sans aucune bulle de vapeur (**schéma 1**).



A ce moment, si on ouvre la vanne de vidange pour enlever de l'eau (**schéma 2**), la pression de 6 bar diminue aussi rapidement qu'elle était montée et à cause de cette dépression soudaine, l'eau surchauffée à 120°C se met à bouillir (dès 1 bar) en émettant un brutal jet de vapeur.

Notez que l'évacuation de la soupape doit être raccordée de sorte à éviter qu'un jet d'eau ou de vapeur bouillante ne puisse blesser quelqu'un.

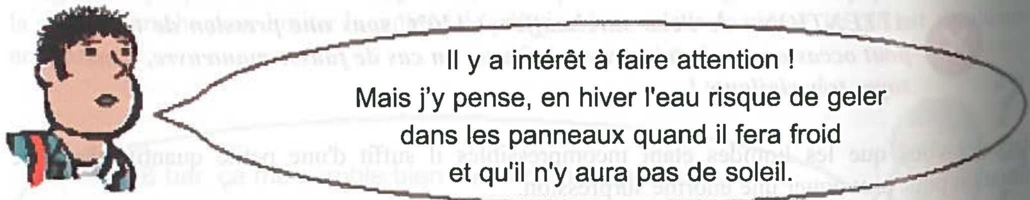
Attendu qu'une partie de l'eau aura été vidangée, quand l'eau restant dans le circuit va se refroidir, elle va se contracter et occuper moins de volume : il y a alors de fortes chances que le haut de l'installation et des panneaux solaires ne contienne plus d'eau (**schéma 3**) et alors plus rien ne pourra fonctionner !



Notez qu'à ce moment, le flotteur du purgeur automatique situé en haut de colonne n'est plus poussé vers le haut par de l'eau.

Il va donc ouvrir l'orifice d'évacuation et au contraire de son fonctionnement normal, c'est de l'air qui va pénétrer dans l'installation par le purgeur !

Avec le fluide à 120°C dans les panneaux solaires sous une pression de 6 bar, rappelez-vous qu'il ne faut jamais exécuter une manipulation qui pourrait s'avérer extrêmement dangereuse, par exemple une vidange partielle du circuit.



Alexis a raison de s'inquiéter. Les panneaux solaires doivent obligatoirement être placés à l'extérieur, bien exposés au soleil, mais aussi malheureusement au vent, à la grêle, au froid et au gel, surtout la nuit.

En plein hiver, même si la température extérieure est inférieure à 0°C, les panneaux peuvent récupérer de la chaleur s'il y a du soleil car les rayonnements infrarouges qui permettent de chauffer l'eau ne sont pas stoppés par l'air froid. Il est donc indispensable de prévoir un dispositif antigel sous peine de détruire les panneaux solaires.

Le système le plus couramment adopté est l'utilisation d'eau glycolée. On remplace l'eau pure par un liquide dont le point de congélation est adapté à la région. Ce liquide contient de 15% à 40% de glycol selon la température de congélation retenue (les fournisseurs se feront un plaisir de vous renseigner).

Dans nos installations de génie climatique, de nombreux matériaux sont assemblés (acier, cuivre, laiton, plastiques, élastomères, etc.) et ils peuvent être soumis à des conditions de température et de pression très différentes. D'autre part, les glycols proposés par les fabricants sont élaborés pour des conditions d'application bien spécifiques dans le but d'obtenir le meilleur rendement et la plus grande sécurité possible du circuit hydraulique.

Ils ajoutent des additifs anti-mousse, anti-corrosion, anti-tartre, anti-bactériens qui protégeront le circuit. Ces additifs sont élaborés en fonction des températures de fonctionnement (par exemple de -15°C à +130°C pour un circuit solaire).

En outre, il existe 2 grands types de glycol : le monopropylène glycol et le monoéthylène glycol. **Ces 2 glycols n'ont pas la même viscosité aux mêmes températures et ne doivent jamais être mélangés.** Seul le monopropylène glycol peut-être considéré comme non toxique.

Rappelons que ce glycol circule dans un échangeur placé dans le ballon d'eau chaude sanitaire. Si l'échangeur venait à percer, il pourrait y avoir diffusion du glycol dans l'eau chaude sanitaire. Dans la pratique, vous ne buvez pas l'eau chaude coulant de votre robinet, mais lorsque vous lavez votre vaisselle par exemple, cette eau chaude pourrait polluer vos ustensiles. Il est donc recommandé d'utiliser un glycol non toxique.

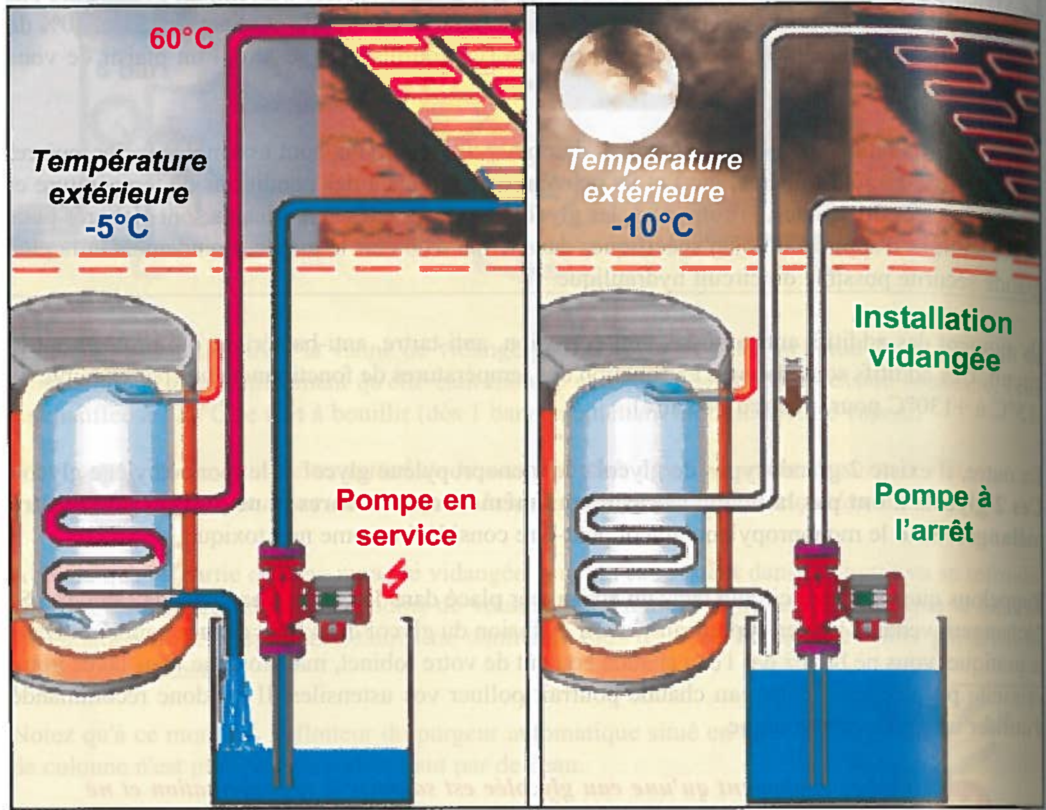
Sachez également qu'une eau glycolée est soumise à réglementation et ne doit jamais être déversée à l'égout. Tout débordement possible (notamment par la soupape) doit être contrôlé et récupéré dans un bidon.

Pour résumer, le glycol utilisé sur ce type de circuit doit être traité anti-corrosion, être adapté aux températures de fonctionnement prévues et il ne doit pas risquer de contaminer l'eau chaude sanitaire. Enfin, rappelez-vous que l'utilisation d'un glycol non agréé risque de vous faire perdre le bénéfice de la garantie.

Après le montage, afin de tester l'étanchéité du circuit panneaux, on le gonfle avec de l'eau. S'il n'y a pas de fuite, on ne rajoute pas du glycol pur dans le circuit : le mélange eau-glycol ne se ferait pas correctement, les proportions seraient hasardeuses et les risques de gel resteraient importants.

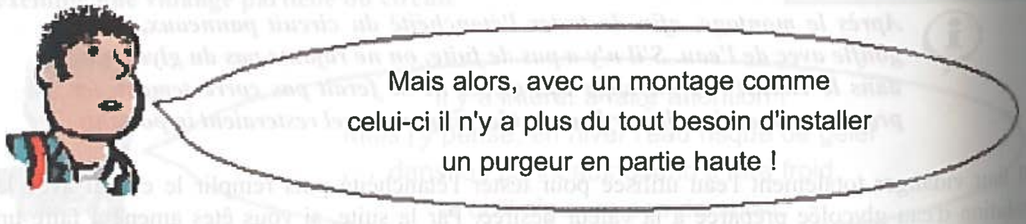
Il faut vidanger totalement l'eau utilisée pour tester l'étanchéité puis remplir le circuit avec la solution d'eau glycolée préparée à la valeur désirée. Par la suite, si vous êtes amené à faire un appoint de fluide solaire, utilisez toujours la même solution que celle d'origine (il existe différents glycols, pas toujours compatibles) et prenez la précaution de contrôler régulièrement le point de congélation de ce fluide.

A NOTER : Une technique antigel de vidange partielle est utilisée par certains constructeurs. Avec ce système auto-vidangeable, l'eau n'est pas glycolée. Lorsque le soleil chauffe les panneaux, l'eau est aspirée par une pompe dans un bac ouvert à la pression atmosphérique. Cette eau est ensuite poussée dans les panneaux qui la chauffe, puis elle redescend dans l'échangeur du ballon avant de retourner dans le bac, et ainsi de suite (vue de gauche ci-dessous).



Lorsque la température de l'eau des panneaux devient inférieure à celle du ballon, l'eau sanitaire ne peut plus être chauffée. La pompe placée dans le réservoir s'arrête alors et l'eau des panneaux revient d'elle-même dans le réservoir par gravité : les panneaux étant vides, il n'y a absolument plus aucun risque de gel.

Pour rappel, on ne peut pas utiliser un circulateur sur ce circuit ouvert (au besoin, voir *page 448*).



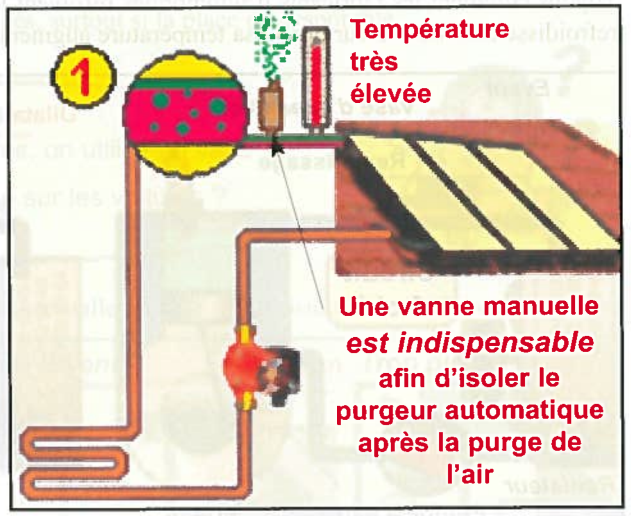
Alexis a raison, quand la pompe démarre, elle permet de remplir rapidement la tuyauterie, de bas en haut, en " poussant " comme un piston l'air emprisonné. Pour créer l'effet de piston, la vitesse de l'eau circulant dans le circuit doit être supérieure à 0,45 m/s. Cela limite le diamètre des tuyauteries du circuit hydraulique (généralement de 12 mm à 14 mm).

Pour compléter nos informations, rappelez-vous qu'un purgeur automatique est un appareil qui rend de nombreux services sur un circuit hydraulique classique tel qu'un chauffage par radiateurs.

En effet, si l'eau contient toujours des gaz dissous au moment du remplissage du circuit, elle n'est pas un fluide neutre vis-à-vis des métaux. Elle provoque toujours quelques corrosions qui se traduisent par la création de gaz. Quand l'eau chauffe, ces gaz dissous s'échappent et un purgeur automatique permet de les d'extraire définitivement du circuit.

Rappelez-vous également que l'eau commence à bouillir à 100°C sous la pression atmosphérique mais que son ébullition se produit à 120°C sous 1 bar.

En ce qui concerne l'eau glycolée, la température d'ébullition dépend principalement du produit utilisé et de sa concentration.



Sur les installations solaires, il arrive que par très fort ensoleillement la température des panneaux devienne tellement élevée qu'elle entraîne la vaporisation d'une petite quantité d'eau glycolée en haut des panneaux (**repère 1**), principalement si la pression en haut du circuit est trop faible.

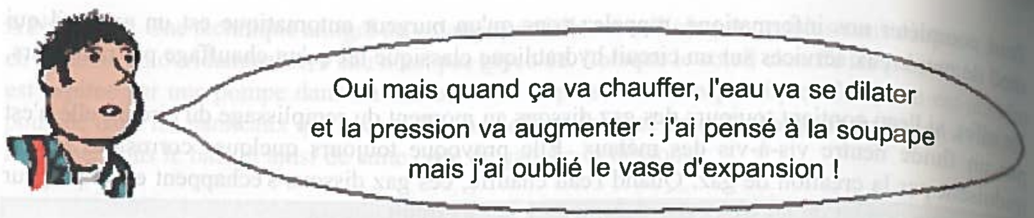
Or, si de l'eau glycolée se vaporise, les vapeurs obtenues sont libérées à l'atmosphère par le purgeur comme si c'était de l'air.

De plus, il arrive malheureusement que le pointeau du purgeur automatique ne se replace pas exactement sur son siège et qu'il laisse échapper quelques gouttes d'eau. Ce n'est généralement pas catastrophique sur un circuit à eau chaude classique, mais avec de l'eau glycolée, le problème est différent. En effet, le glycol est un fluide beaucoup plus " mouillant " que l'eau et certains joints parfaitement étanches avec de l'eau risquent de fuir avec du glycol. Cela explique pourquoi de nombreux purgeurs automatiques ont tendance à fuir sur les installations d'eau glycolée.

Premièrement, rappelons-nous que le glycol est un fluide polluant. Toute perte de glycol doit être récupérée, ce qui devient impossible quand il s'échappe sous forme de vapeurs par un purgeur placé sur un toit. *Deuxièmement*, effectuer des appoints de glycol nécessite du matériel et des compétences.

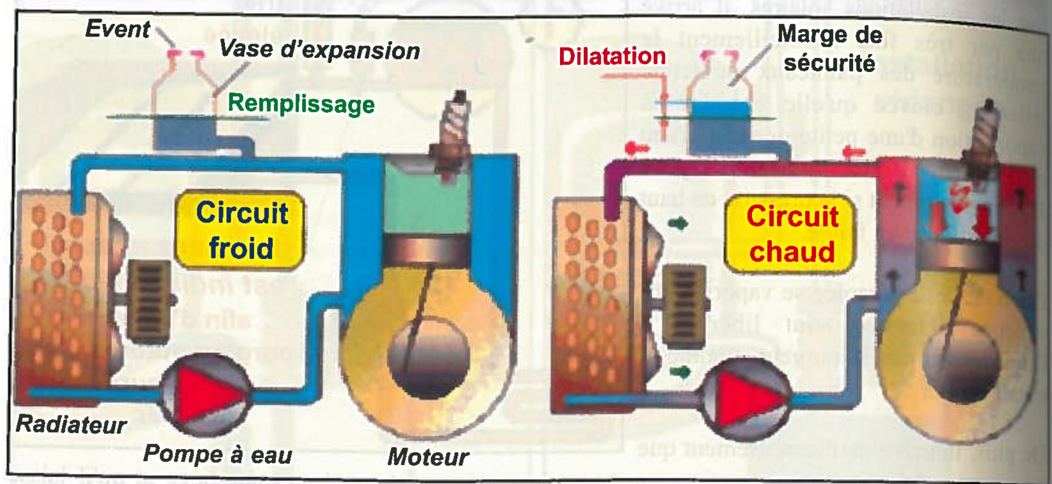
C'est pourquoi, lorsque la pression de gonflage du vase d'expansion est correcte, que le remplissage a été effectué correctement et que le circuit a été bien purgé et bien rempli à la bonne pression, il est nécessaire de le fermer hermétiquement par une vanne manuelle qui isole le purgeur.

Comme l'eau glycolée fournie par les constructeurs contient entre autres des additifs anti-corrosion, il n'y a pas de gaz créés en cours de fonctionnement et le purgeur automatique peut être isolé sans risque. De plus, en cas de vaporisation partielle de l'eau glycolée, les vapeurs produites ne pourront pas s'échapper et elles se condenseront à nouveau dès que la température diminuera.



Alexis a raison. Un circuit " fermé " tel que celui de nos panneaux solaires a un volume interne fixe. Par contre, le liquide que ce circuit contient augmente de volume quand la température augmente, ce qui provoque une très importante augmentation de la pression.

Voyons comment les fabricants d'automobiles résolvent le problème de l'expansion du liquide de refroidissement du moteur quand sa température augmente.



Ils utilisent un vase d'expansion mis à l'air libre appelé communément vase " ouvert ".

Ce vase est situé au point le plus haut, sous le capot du moteur. Ainsi, lorsque le moteur chauffe, le liquide de refroidissement se dilate et l'excès de volume trouve naturellement de la place dans ce vase.

Plus tard, lorsque le moteur s'arrête, le liquide se contracte en se refroidissant et le niveau dans le réservoir d'expansion diminue : il n'est heureusement pas nécessaire de remettre du liquide à chaque variation de régime !

Le bouchon qui ferme le vase est équipé d'un petit orifice servant d'évent (*comme au sommet du château d'eau vu page 437*) qui met le liquide de refroidissement en contact avec l'air atmosphérique.

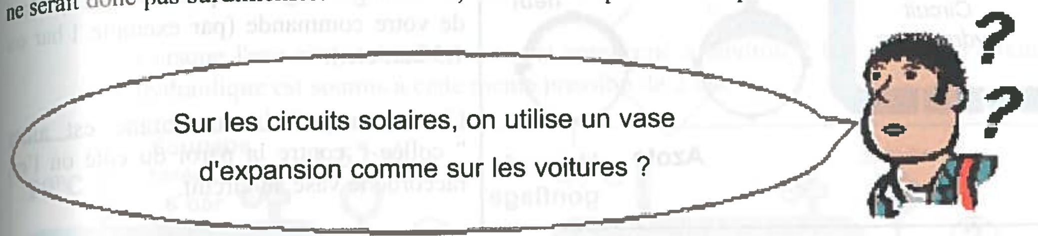
Ainsi, le liquide peut monter ou descendre dans le vase sans aucune difficulté, l'air pouvant aisément entrer ou sortir du bocal.

Notez que le constructeur prévoit une marge de sécurité dans son vase. Il indique un niveau maxi et un niveau mini afin de laisser à l'usager des tolérances de remplissage, sans aucun risque de débordement.

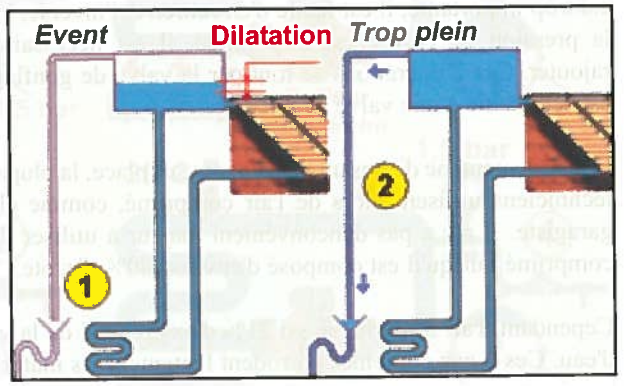
Sur notre circuit de panneaux solaires, en estimant la dilatation de l'eau à 4% pour une variation de température comprise entre 10 et 90°C et un volume de fluide dans le circuit d'environ 25 litres, l'augmentation de volume sera égale à environ : 25 x 4 / 100 = 1 litre au minimum puisque l'eau peut chauffer davantage.

Le volume du vase à installer devra obligatoirement être nettement supérieur à cette valeur puisqu'il faut en plus se réserver une large marge de sécurité pour éviter tout débordement et permettre des tolérances de remplissage à la mise en route : on ne va pas compter les gouttes d'eau au chiffre près pour remplir un circuit hydraulique !

Un vase de 1 litre serait donc trop petit. Notez que dans la pratique il n'est pas exagéré de multiplier le volume de dilatation par 3 ou 4. Un vase de 3 à 10 litres pour une dilatation de 1 litre ne serait donc pas surdimensionné à l'excès, surtout si la place est disponible.



Pour répondre à Alexis, admettons que l'on installe un vase d'expansion " ouvert ", comme sur les automobiles.



Nous avons déjà vu avec le château d'eau qu'un évent est indispensable afin de permettre la mise à l'atmosphère du réservoir.

Sur le vase d'expansion ouvert, le tube qui sert d'évent **(repère 1)** permet la mise à l'air libre mais et il fait également office de trop-plein en cas de débordement **(repère 2)**.

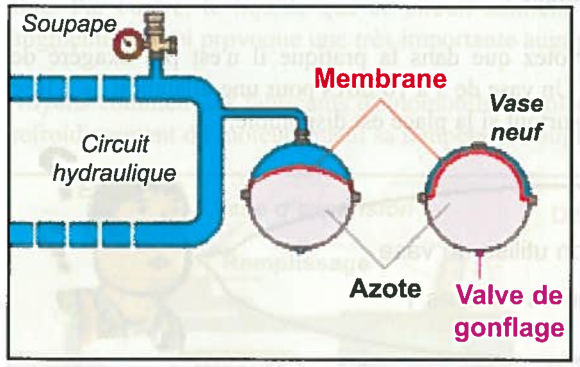
Pour mettre un circuit hydraulique solaire sous pression, le vase d'expansion ouvert devrait se situer sous le toit, plus haut que les panneaux, sinon l'eau des panneaux se viderait dedans (et cette disposition n'est pas toujours possible). De plus, le remplissage du circuit avec de l'eau glycolée tout en contrôlant le niveau dans le vase ne serait guère pratique à moins de monter le fût de solution glycolée au grenier.

A ce moment, si l'on remplit trop le circuit, il ne faudrait pas que le vase déborde dans le grenier quand la température augmentera dans les panneaux (et que l'eau fasse une jolie tache au plafond de la pièce située en dessous !). Le tube de trop-plein doit donc être ramené vers le local technique en bas de l'installation. De plus, il sera nécessaire de monter régulièrement dans le grenier pour surveiller si le niveau est toujours correct.

En conclusion, si le vase d'expansion ouvert est un système simple dont le principal avantage est qu'il sert parfaitement de purgeur automatique, il présente dans notre cas plus d'inconvénients que d'avantages...

Abandonnons le vase d'expansion ouvert pour utiliser un dispositif d'expansion bien plus intéressant que nous avons déjà évoqué succinctement *page 473* avec la chaudière murale à gaz : le vase d'expansion fermé sous pression d'azote.

Un vase d'expansion fermé est un récipient métallique équipé d'une membrane souple et étanche " en caoutchouc " séparant d'un côté l'eau du circuit hydraulique dont le volume va varier à cause des dilatations, et de l'autre côté de l'azote sous pression qui présente l'avantage d'être un gaz neutre non agressif vis-à-vis des matériaux utilisés et de la membrane.



Lorsqu'un vase neuf est livré, il ne contient bien sûr pas d'eau, mais il est pré-gonflé à l'azote en usine par l'intermédiaire de la valve de gonflage à la pression choisie lors de votre commande (par exemple 1 bar ou 1,5 bar, etc.).

C'est pourquoi la membrane est alors " collée " contre la paroi du côté où l'on raccorde le vase au circuit.

Quelle qu'en soit la raison, si la pression de l'azote dans le vase est trop importante, il est facile d'en retirer. A l'inverse, lorsque la pression de l'azote est trop faible, il est nécessaire d'en rajouter. Ces 2 opérations se font par la valve de gonflage qui est semblable à une valve de pneu.



Généralement, ne disposant pas d'azote sur place, la plupart des techniciens utilisent alors de l'air comprimé, comme chez le garagiste. Il n'y a pas d'inconvénient majeur à utiliser de l'air comprimé puisqu'il est composé d'environ 80% d'azote.

Cependant, l'air renferme aussi 21% d'oxygène et de la vapeur d'eau. Ces 2 gaz combinés corrodent lentement les matériaux.

Toujours est-il qu'en dépannage, à défaut d'azote, on peut effectuer un appoint de pression avec de l'air comprimé par la valve de gonflage. En résumé, il est fortement recommandé de n'utiliser exclusivement que de l'azote pour gonfler les vases d'expansion. Du reste, ils sont couramment appelés 'vases d'expansion sous pression d'azote'.

Nous avons vu à plusieurs reprises que l'eau se dilate quand la température augmente. Entre 10°C et 90°C, 1 m³ d'eau se dilate d'environ 40 litres, soit 4% mais 1 m³ d'eau glycolée à 30% se dilaterait dans les mêmes conditions d'environ 60 litres !

Les pressions maximales de service de la plupart des échangeurs sont souvent limitées à 4 bar.

Pour un circuit solaire, cette pression maximale peut être de 6 bar (au besoin, renseignez-vous auprès du fabricant). Ne perdez pas de vue que la dilatation des liquides pourraient provoquer des pressions extrêmement importantes rendant le vase d'expansion absolument indispensable.

Pour mieux comprendre le fonctionnement du vase d'expansion sous pression d'azote, prenons l'exemple d'un petit circuit hydraulique de chauffage rempli d'eau à 20°C sous une pression de 1,5 bar et suivons chronologiquement les étapes de mise en température du circuit.

Schéma 1 : La soupape de sécurité est tarée à 6 bar. Le vase d'expansion sous pression d'azote (formule chimique N_2) est légèrement rempli d'eau. De chaque côté de la membrane souple du vase la pression est de 1,5 bar.

Schéma 2 : Lorsque l'on met en service le brûleur, la température de l'eau augmente rapidement et la dilatation commence. Le volume d'eau en excès pénètre progressivement dans le vase en incurvant sa membrane. Simultanément, le volume réservé à l'azote se réduit. La compression de l'azote provoque alors une augmentation de sa pression qui se répercute dans tout le circuit hydraulique.

Lorsque l'eau atteint 40°C, l'azote est comprimé à environ 2 bar et tout le circuit hydraulique est soumis à cette même pression de 2 bar.

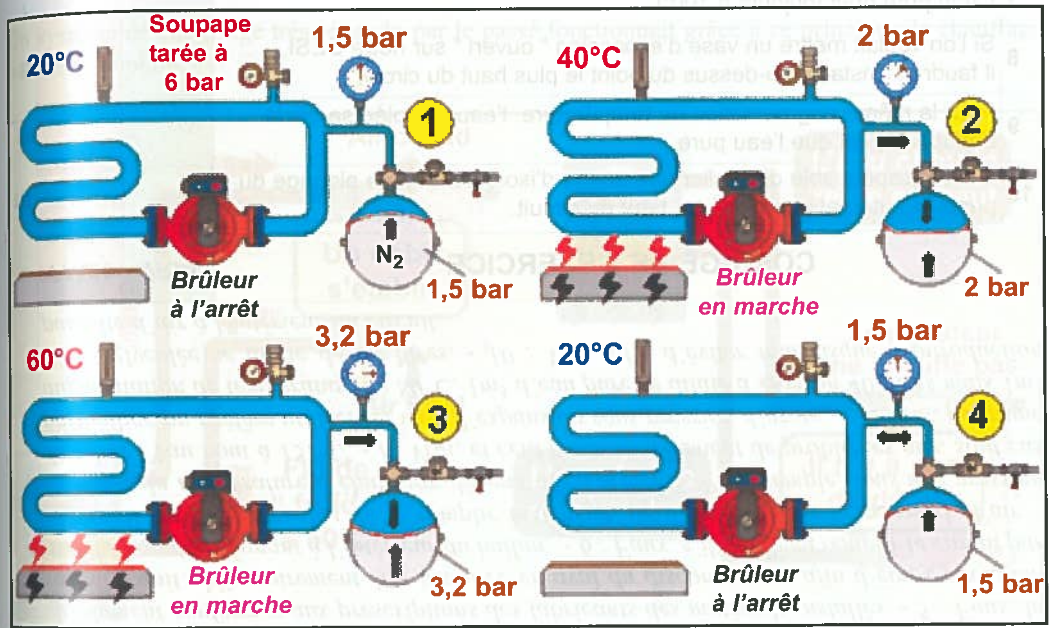


Schéma 3 : Si on continue à chauffer l'eau, par exemple jusqu'à 60°C, la dilatation atteint environ 2% du volume total et la pression dans le vase d'expansion (ainsi que dans tout le circuit) monte à 3,2 bar. Ainsi, plus la température de l'eau augmente et plus la pression augmente simultanément dans tout le circuit et dans le vase d'expansion.

Schéma 4 : Par la suite, lorsque le circuit va se refroidir, l'eau va se contracter. L'azote sous pression repousse alors au fur et à mesure l'eau du vase vers le circuit et la membrane retrouve progressivement sa position de départ.

Ainsi, la pression du circuit et celle du vase diminuent toutes les deux au fur et à mesure de la diminution de température de l'eau et à 20°C, les conditions initiales sont retrouvées avec une pression dans tout le circuit de nouveau égale à 1,5 bar.

	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°33 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX
1	Sur un CESI, l'eau des panneaux solaires circule dans l'enveloppe du ballon d'eau chaude et l'eau de ville circule dans un échangeur souvent en forme de serpentin		
2	Sur le serpentin du ballon et sur les panneaux solaires l'entrée d'eau doit se faire par le bas et la sortie par le haut		
3	L'alimentation en eau de ville doit se faire par le bas du ballon d'eau chaude mais le puisage d'eau doit se faire par le haut		
4	Monter un échangeur de chaleur à contre-courant permet d'améliorer son rendement		
5	Sur l'entrée d'eau froide du ballon, la soupape de sécurité doit être installée en amont du disconnecteur		
6	A la mise en route, afin de favoriser la purge de l'air contenu dans le circuit, il est conseillé de le remplir par le bas, le plus vite possible		
7	L'eau pure bout toujours à 100°C		
8	Si l'on voulait mettre un vase d'expansion " ouvert " sur notre CESI, il faudrait l'installer au-dessus du point le plus haut du circuit		
9	Pour la même augmentation de température, l'eau glycolée se dilate beaucoup plus que l'eau pure		
10	Il est indispensable d'installer une vanne d'isolement sur le piquage du purgeur automatique placé en haut du circuit.		

CORRIGÉ DE L'EXERCICE	VRAI	FAUX
1 : Faux, c'est l'inverse. C'est l'eau des panneaux solaires qui circule dans le serpentin. - 2 : Faux. Bien que l'affirmation soit exacte pour les panneaux c'est l'inverse pour le serpentin afin d'assurer un échange de chaleur à contre courant. - 3 : Vrai, comme pour tous les ballons d'eau chaude, quelle que soit la technologie qui permet de chauffer l'eau. - 4 : Vrai, c'est pourquoi les divers raccordements sur le ballon et sur le serpentin doivent être absolument conformes aux prescriptions des fabricants des matériels installés. - 5 : Faux, la soupape doit obligatoirement être installée en aval du disconnecteur afin d'être en relation avec la pression régnant à l'intérieur du ballon. - 6 : Faux, s'il faut bien remplir le circuit par le bas, il est indispensable de le remplir lentement afin de favoriser la purge de l'air. - 7 : Faux, la température d'ébullition dépend de la pression. Par exemple, sous une pression de 4 bar l'eau bout à 152°C. - 8 : Vrai, et cela poserait tellement de problèmes que, sauf cas particulier, on préfère utiliser un vase d'expansion sous pression d'azote. - 9 : Vrai, pour une augmentation de température de 80°C, 1m³ d'eau pure se dilate d'environ 40 litres mais 1m³ d'eau glycolée se dilate de 60 litres. - 10 : Vrai, afin d'éviter tout risque d'introduction parasite d'air à l'intérieur du circuit.		

Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

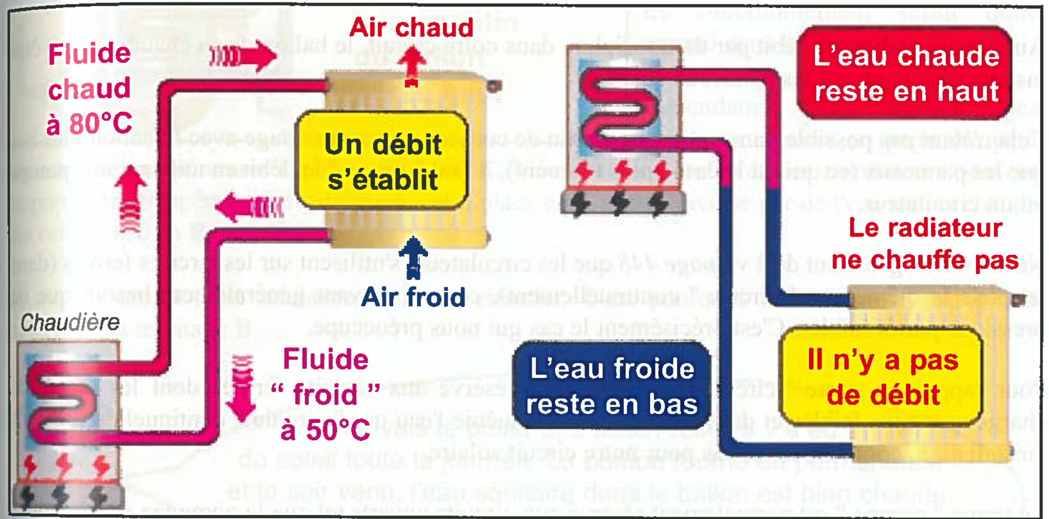


En effet, une pompe est indispensable sur notre circuit.

Pour rappel, nous avons vu que la densité de tous les fluides (gaz ou liquides) diminue quand la température augmente (en clair, ils deviennent plus " légers ").

L'exemple le plus connu est l'air chaud utilisé pour permettre à une montgolfière de s'élever dans les airs. Nous avons également parlé *page 463* de la stratification de l'eau dans le chauffe-eau à accumulation. L'eau froide étant plus " lourde ", elle reste en bas du ballon tandis que l'eau chaude plus " légère " monte lentement vers le haut.

Un système de chauffage très répandu par le passé fonctionnait grâce à ce principe : le chauffage par thermosiphon.



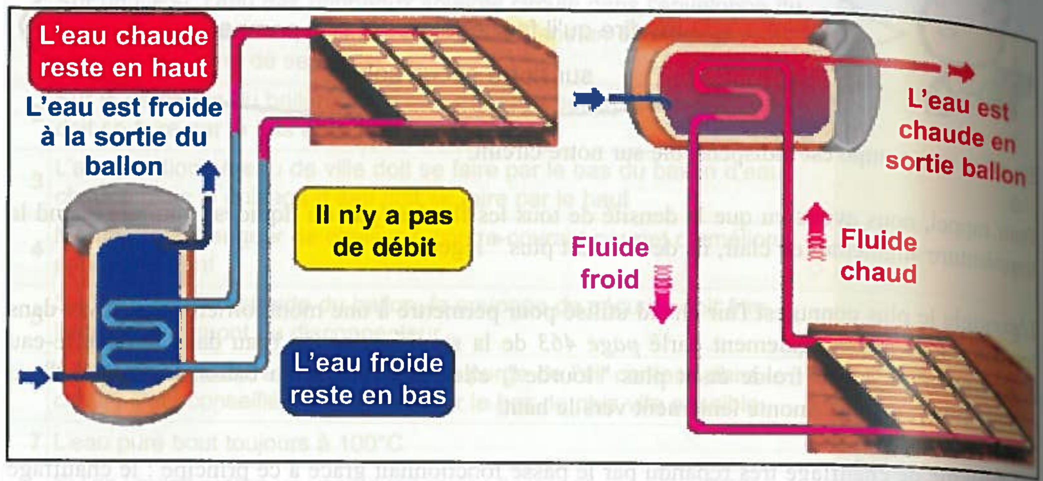
L'eau chauffée dans une chaudière aux environs de 80°C devenant plus légère, elle monte vers les radiateurs situés au-dessus de la chaudière (*schéma de gauche*).

Dans ces radiateurs, l'eau chaude cède de la chaleur à l'air ambiant qui se réchauffe. L'eau s'étant refroidie (par exemple à 50°C) elle devient plus " lourde " et descend en bas du radiateur puis vers la chaudière.

L'eau chaude plus " légère " en sortie chaudière monte vers les radiateurs et ainsi de suite. Le résultat est qu'un débit s'établit naturellement entre la chaudière et les radiateurs.

Des immeubles entiers fonctionnaient sur ce principe, mais les radiateurs devaient alors obligatoirement être placés au-dessus de la chaudière, sinon il aurait été impossible que le débit s'établisse par thermosiphon (*schéma de droite*).

Nous avons exactement le même problème avec notre montage : il ne pourrait fonctionner qu'à condition que le ballon soit placé au-dessus des panneaux (voir schémas ci-dessous).



A NOTER : ce système est assez utilisé dans les DOM et dans le sud de l'Europe, en Espagne par exemple : on aperçoit alors les ballons d'eau chaude au sommet des faîtages.

Ainsi, pour établir un débit par thermosiphon dans notre circuit, le ballon d'eau chaude devait être installé plus haut que les panneaux solaires.

Cela n'étant pas possible dans notre cas, et afin de conserver notre montage avec le ballon plus bas que les panneaux (ce qui est le cas le plus fréquent), il faut " forcer " le débit en utilisant une pompe ou un circulateur.

Nous avons également déjà vu *page 448* que les circulateurs s'utilisent sur les circuits fermés (dans lesquels la même eau " circule " continuellement), ceux-ci n'ayant généralement besoin que de pressions plutôt faibles. C'est précisément le cas qui nous préoccupe.

Pour rappel, le terme " circulateur " est plutôt réservé aux circuits fermés dont les pertes de charge sont plus faibles et dans lesquels c'est la même l'eau qui " circule " continuellement dans l'installation, comme c'est le cas pour notre circuit solaire.

Le terme " pompe " est normalement réservé aux circuits ouverts tel que le pompage de l'eau dans une nappe phréatique pour remplir un réservoir. Cependant, dans le langage pratique des chantiers, on appelle " pompe " indifféremment les pompes ou les circulateurs.

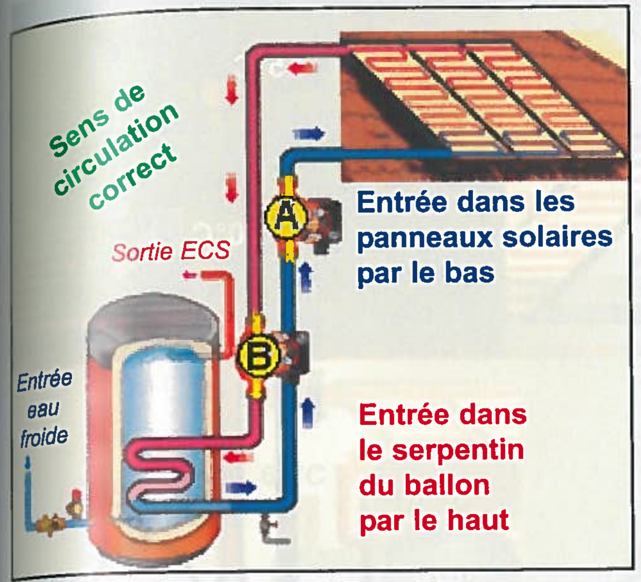
Le rôle d'un circulateur est d'assurer un débit nominal avec une pression suffisante pour vaincre les pertes de charge du circuit. Il est facile de comprendre que si la pression fournie par le circulateur est insuffisante, les forces résistantes (c'est-à-dire les Pertes de Charge) feront que le débit dans l'installation sera insuffisant.

En effet, pour une pompe comme pour un circulateur, le débit et la pression sont intimement liés (nous verrons par la suite ces problèmes d'un peu plus près).

A NOTER : Le cœur n'est rien d'autre qu'une pompe qui fournit une " pression artérielle " suffisante pour assurer un débit de sang dans les artères et dans les veines, ce qui est fondamental pour nous permettre de vivre.



On a déjà parlé du sens de circulation dans les échangeurs, eau froide en bas et eau chaude en haut. Mais, où faut-il mettre la pompe ?



Comme nous l'avons déjà vu, l'eau chaude doit sortir par le haut des panneaux solaires puis pénétrer dans le ballon par le haut du serpentin.

Le bon sens de circulation serait respecté que le circulateur soit placé en **A** ou en **B**. De plus, l'axe du moteur est horizontal dans chacun des 2 montages, ce qui correspond bien aux préconisations que nous avons expliqué *page 448*.

Le fonctionnement serait donc normal dans les 2 cas.

Cependant, l'eau sortant des panneaux solaires en plein été peut atteindre des températures supérieures à 100°C. Même si les moteurs de ces circulateurs peuvent supporter des températures supérieures, celui placé en **A** serait traversé par de l'eau moins chaude que celui placé en **B**.

Le moteur aurait donc tendance à moins chauffer. C'est pourquoi le montage **A** est plutôt préférable au montage B.



Je vais te poser une colle Alexis. Il y a eu du soleil toute la journée. La pompe tourne en permanence et le soir venu, l'eau sanitaire dans le ballon est bien chaude. Pourtant, le lendemain matin, elle est anormalement froide même si le client n'a pas du tout utilisé d'eau chaude. Vois-tu pourquoi ?

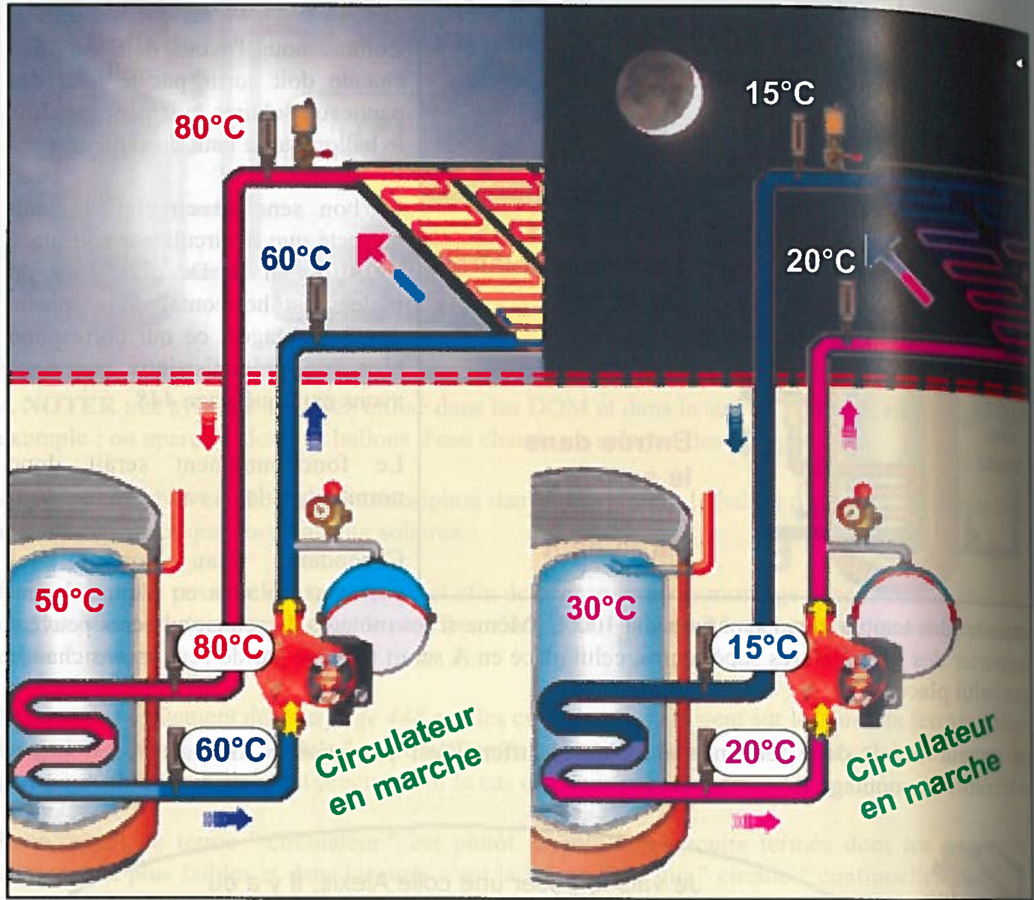


Si personne n'a utilisé d'eau chaude, cela ne me semble pas possible, ou alors le ballon est mal isolé ? C'est ça ?

Et vous, avant de lire la page suivante, qu'en pensez-vous ?

En fait, l'explication est bien différente. Prenons un exemple : pendant une journée ensoleillée, le circuit solaire a fonctionné correctement et l'eau chaude sanitaire contenue dans le ballon est en début de soirée par exemple à 50°C (vue de gauche).

A ce moment, si le client veut prendre une douche, il aura de l'eau chaude.

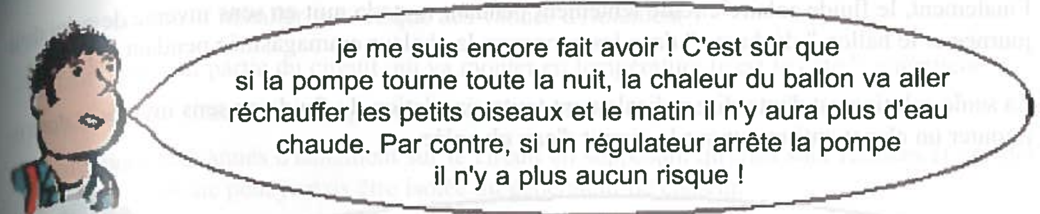


La nuit venue, attendu qu'il n'y a plus de soleil, la température de l'eau glycolée dans les panneaux diminue et devient rapidement inférieure à la température de l'eau sanitaire à 50°C contenue dans le ballon (vue de droite).

C'est pourquoi, avec le circulateur qui continue à fonctionner, l'eau du circuit solaire est refroidie dans les panneaux (dans l'exemple ci-dessus à 15°C) puis elle se réchauffe (à 20°C dans l'exemple) au contact de l'eau sanitaire chaude contenue dans le ballon : la chaleur emmagasinée dans le ballon pendant la journée est donc dissipée la nuit par les panneaux solaires et le matin, l'eau de la douche est froide (30°C au lieu de 50°C dans l'exemple) !

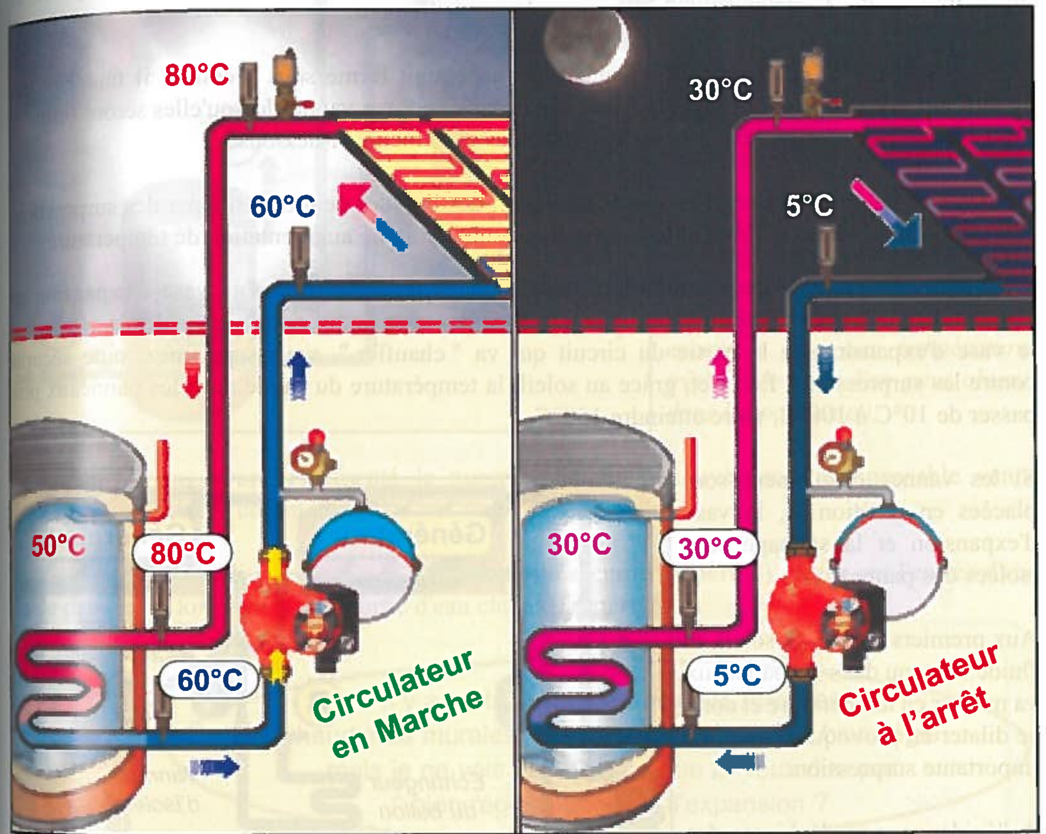
Bien sûr, plus la nuit est fraîche et plus l'eau sanitaire est refroidie.

Il est donc impératif d'arrêter le circulateur lorsque la température de l'eau dans les panneaux devient inférieure à la température de l'eau sanitaire dans le ballon : c'est le rôle de la régulation dont nous reparlerons très bientôt.



Hélas, Alexis va encore trop vite. Reprenons l'exemple précédent avec l'eau sanitaire chauffée à 50°C en fin d'après midi. La nuit venue, attendu qu'il n'y a plus de soleil, la température des panneaux va devenir inférieure à la température du ballon et la régulation va arrêter le circulateur.

Jusque-là, tout va bien. Mais rappelez-vous de l'effet thermosiphon dont nous avons parlé *page 503* : l'eau chauffée devient plus légère et elle a tendance à " monter ". Par contre, l'eau froide plus lourde a tendance à " descendre ".

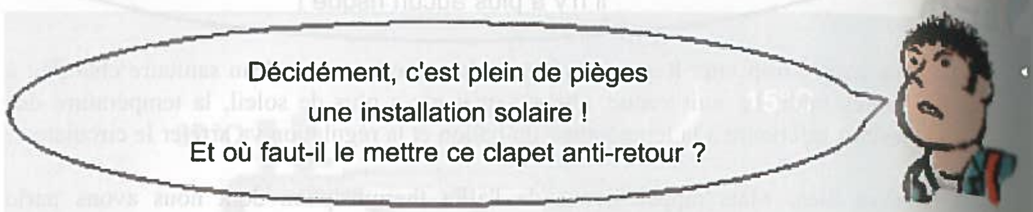


Or, la nuit, la température des panneaux devient nettement inférieure à celle du ballon. L'eau froide qui se trouve en bas des panneaux (par exemple à 5°C) devenant plus lourde, elle redescend en sens inverse vers le circulateur.

Mais, attendu qu'un circulateur à l'arrêt n'est pas un clapet ou une vanne fermée, rien n'empêche l'eau à 5°C de traverser la turbine à l'arrêt. Ensuite, elle descend dans le serpentin du ballon en chassant l'eau chaude qui remonte alors vers les panneaux dans lesquels elle va se refroidir au contact de l'air froid de la nuit, et ainsi de suite…

Finalement, le fluide solaire circule lentement pendant toute la nuit en sens inverse de celui de la journée et le ballon " décharge " dans les panneaux la chaleur emmagasinée pendant la journée.

La seule solution est d'interdire radicalement toute circulation du fluide en sens inverse et donc de rajouter un clapet anti-retour sur le circuit d'eau glycolée.

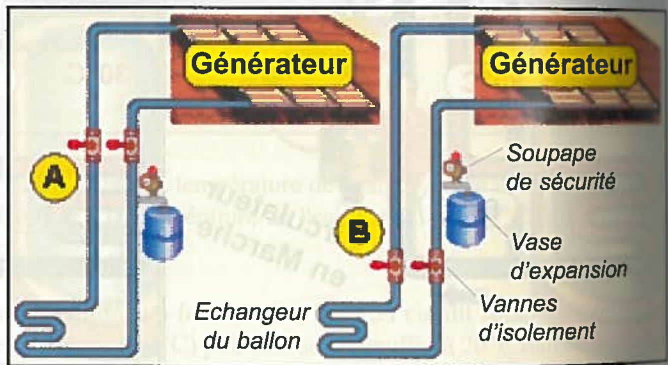


Pour répondre à Alexis, prenons l'exemple de vannes d'isolement que l'on souhaite installer afin de faciliter les opérations de maintenance, par exemple pour isoler et vidanger une partie de l'installation afin de réparer une fuite ou remplacer un élément.

Lorsque l'on insère des vannes d'isolement sur un circuit fermé sous pression, il faut être très attentif aux risques de surpression que peuvent occasionner ces vannes lorsqu'elles seront fermées. Pour bien le comprendre, examinons les 2 schémas de principe ci-dessous.

Nous avons vu à maintes reprises que la dilatation des liquides peut occasionner des surpressions très importantes dans les tubes et les appareils lorsqu'il y a une augmentation de température.

C'est pour cette raison que l'installation d'une soupape de sécurité et d'un vase d'expansion est obligatoire sur les circuits fermés. Si vous installez des vannes qui risquent d'isoler la soupape et le vase d'expansion de la partie du circuit qui va " chauffer ", vous supprimez toute sécurité contre les surpressions. En effet, grâce au soleil, la température du fluide dans les panneaux peut passer de 10°C à 100°C, voire atteindre 150°C.



Si les vannes d'isolement sont placées en position **A**, le vase d'expansion et la soupape sont isolées des panneaux.

Aux premiers rayons de soleil, le fluide contenu dans les panneaux va monter en température et donc se dilater en provoquant une très importante surpression.

A l'évidence, une déchirure des tuyauteries va se produire du côté du générateur !

A l'inverse, si les vannes sont placées en position **B**, vous pouvez les fermer sans aucun risque de surpression dans les panneaux. Vous pouvez objecter que du côté de l'échangeur du ballon, il n'y a pas de soupape de sécurité (il y a bien une soupape, mais sur l'eau sanitaire contenue à l'intérieur du ballon et donc sans aucune relation avec l'intérieur de l'échangeur).

En fait, il n'y a pas de risque de surpression car au contraire, l'échangeur du ballon se refroidit en cédant sa chaleur à l'eau chaude sanitaire.

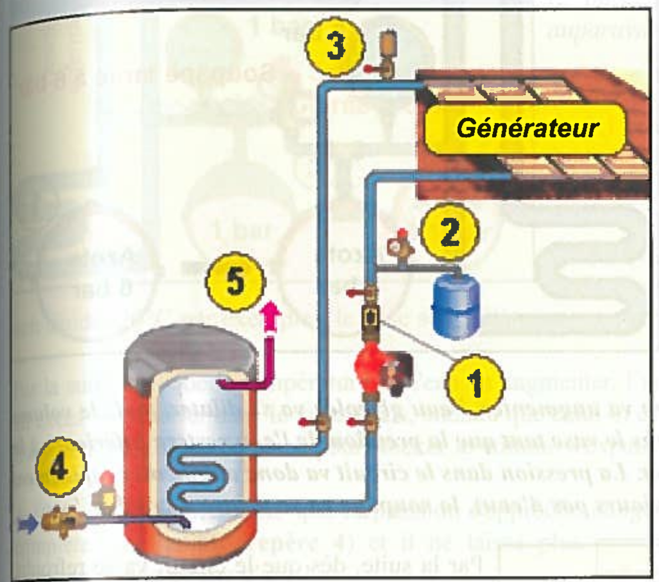
Mais alors, comment installer sans risque des vannes d'isolement ?

1°) Il faut repérer la partie du circuit qui va monter en température (c'est le côté " générateur ").

2°) Repérer où se situent la soupape et le vase d'expansion.

3°) Positionner les vannes d'isolement sur le circuit en supposant qu'elles sont fermées et vérifier que la soupape ne peut jamais être isolée du générateur de chaleur.

A présent, comme nous venons de le voir, l'installation d'un clapet anti-retour est indispensable sur le circuit panneaux.



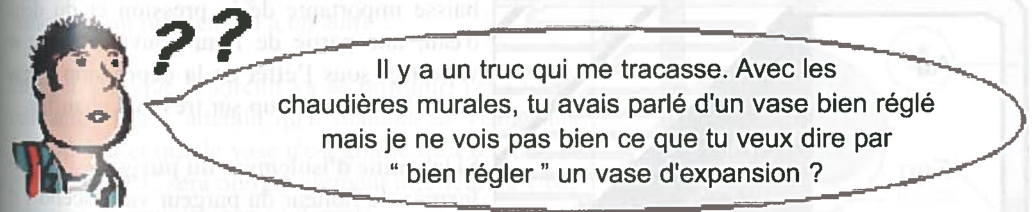
Il est généralement placé sur le refoulement du circulateur (**repère 1**), entre 2 vannes d'isolement destinées à faciliter la maintenance.

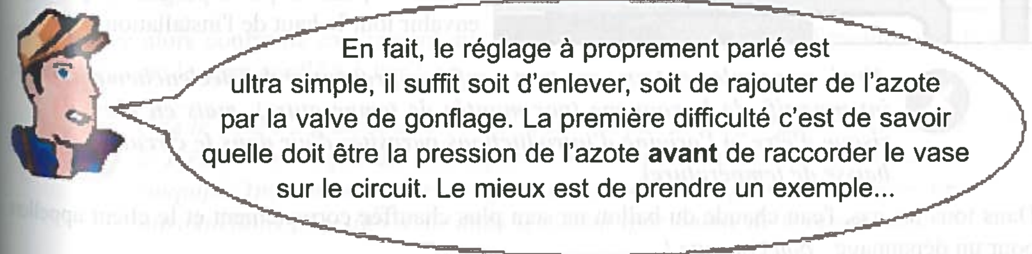
Le vase d'expansion et la soupape de sécurité (**repère 2**) sont donc obligatoirement placés comme représenté sur le schéma.

Nous aurons l'occasion de reparler de l'emplacement du vase d'expansion, mais sachez dès à présent que les circuits solaires constituent une exception due aux températures très élevées que l'on peut obtenir dans les panneaux).

Pour rappel, nous avons représenté le purgeur automatique avec son indispensable vanne d'isolement (**repère 3**) comme nous l'avons vu *page 497*.

Vous reconnaissez le disconnecteur et la soupape de sécurité (**repère 4**) placés sur l'entrée d'eau froide dans le ballon ainsi que la sortie d'eau chaude (**repère 5**).

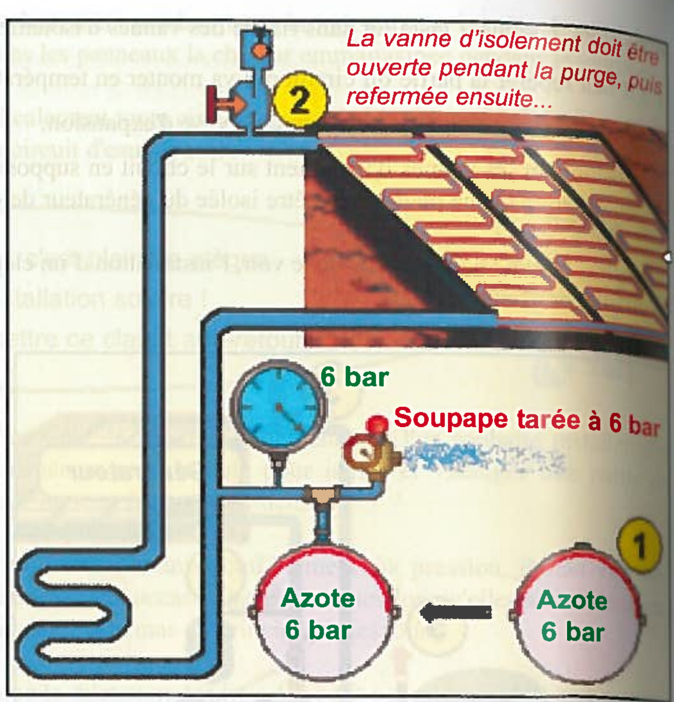




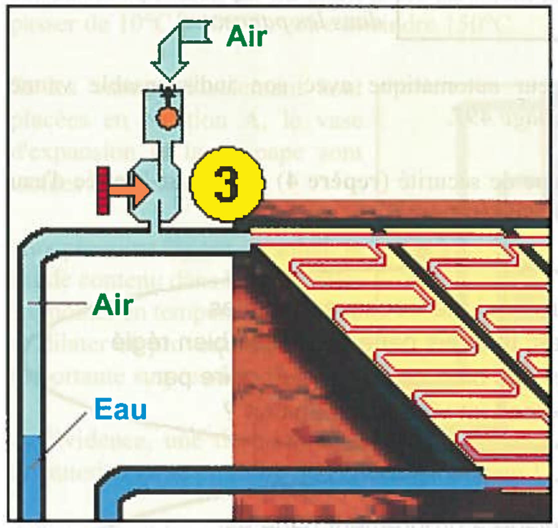
Pour commencer, admettons que le vase d'expansion arrive d'usine gonflé à 6 bar. Il est bien sûr vide d'eau et la membrane est collée contre la paroi par la pression de l'azote (**repère 1**).

Lorsque le technicien va remplir le circuit avec de l'eau glycolée, celle-ci va pénétrer dans l'installation et l'air sera chassé par le purgeur automatique (**repère 2**), *s'il a auparavant bien ouvert sa vanne d'isolement.*

Attendu que la pression de l'azote est de 6 bar, l'eau de remplissage ne pourra pas du tout pénétrer à l'intérieur du vase. L'installation sera donc parfaitement remplie, mais le vase ne contiendra pas une seule goutte d'eau glycolée !



Par la suite, dès que la température va augmenter, l'eau glycolée va se dilater, mais le volume en excès ne pourra pas pénétrer dans le vase tant que la pression de l'eau restera inférieure à la pression de l'azote, c'est-à-dire 6 bar. La pression dans le circuit va donc augmenter rapidement et à 6 bar (le vase ne contenant toujours pas d'eau), la soupape va se mettre à cracher !



Par la suite, dès que le circuit va se refroidir, l'eau glycolée va se contracter. Mais, attendu que le vase est vide, l'eau glycolée expulsée par la soupape va manquer.

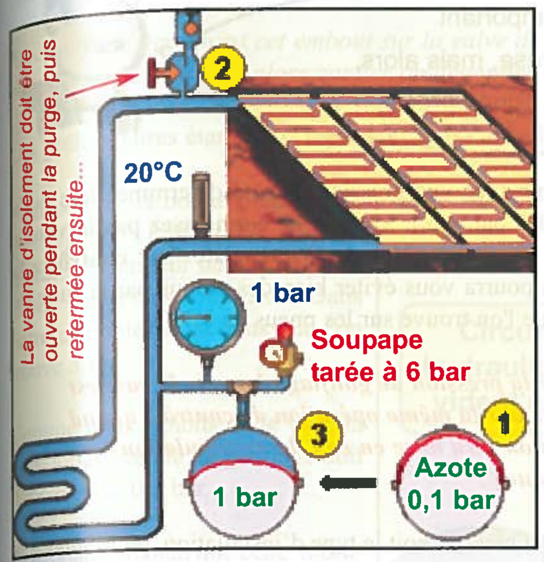
Si la vanne d'isolement du purgeur est bien fermée, le manque d'eau va se traduire par une baisse importante de la pression et du débit d'eau, une partie de l'eau pouvant même se vaporiser sous l'effet de la dépression : l'eau du ballon sera à coup sûr très mal chauffée.

Si la vanne d'isolement du purgeur n'est pas fermée, le flotteur du purgeur va descendre et de l'air va pénétrer par le purgeur (**repère 3**) et envahir tout le haut de l'installation !

Ainsi, non seulement un vase trop gonflé va provoquer des déclenchements intempestifs de la soupape (par montée de température), mais en plus, il risque d'être à l'origine d'introductions parasites d'air dans le circuit (par baisse de température).

Dans tous les cas, l'eau chaude du ballon ne sera plus chauffée correctement et le client appellera pour un dépannage : *bon courage !*

A présent, examinons l'hypothèse avec le vase d'expansion qui arrive d'usine gonflé à 0,1 bar.



Il est bien sûr vide d'eau et la membrane est collée contre la paroi par la pression d'azote (**repère 1**).

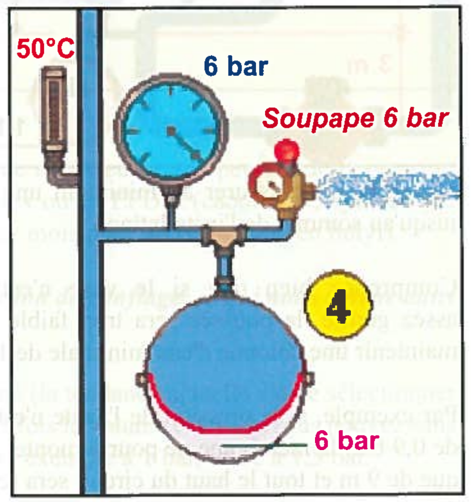
Lorsque le technicien va remplir le circuit hydraulique, par exemple à 1 bar, l'eau glycolée va pénétrer dans l'installation et l'air sera chassé comme précédemment par le purgeur automatique (**repère 2**), *s'il a auparavant bien ouvert sa vanne d'isolement.*

Attendu que la pression d'azote n'est que de 0,1 bar, l'eau glycolée de remplissage va également pénétrer à l'intérieur du vase et comprimer l'azote jusqu'à 1 bar.

L'installation sera donc parfaitement remplie mais, bien que la solution glycolée du circuit soit froide (20°C par exemple), le vase sera déjà presque complètement rempli (**repère 3**) !

Par la suite, dès que la température de l'eau va augmenter, l'au glycolée va se dilater et le volume en excès va pénétrer dans le vase. Mais, attendu que celui-ci est déjà presque complètement rempli, il n'y aura plus assez de place pour stocker le volume d'expansion prévu lors de sa sélection.

A 50°C par exemple, alors que la pression s'approche dangereusement de 6 bar, le vase est déjà complètement rempli (**repère 4**) et il ne laisse plus entrer une seule goutte d'eau !

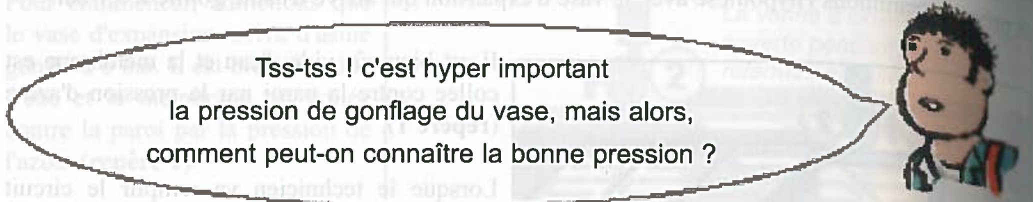


La température continuant d'augmenter, la pression veut dépasser 6 bar et la soupape se met alors à cracher en libérant le volume d'expansion que le vase est devenu bien incapable d'absorber ! On peut ainsi perdre plusieurs litres d'eau glycolée qui vont fatalement manquer à un moment ou à un autre !

En effet, dès que le circuit va se refroidir, l'eau va se contracter. Mais, attendu qu'il manque de l'eau dans l'installation et que le vase n'est gonflé qu'à 0,1 bar, la pression à 20°C sera obligatoirement inférieure à 1 bar (pression de remplissage au départ).

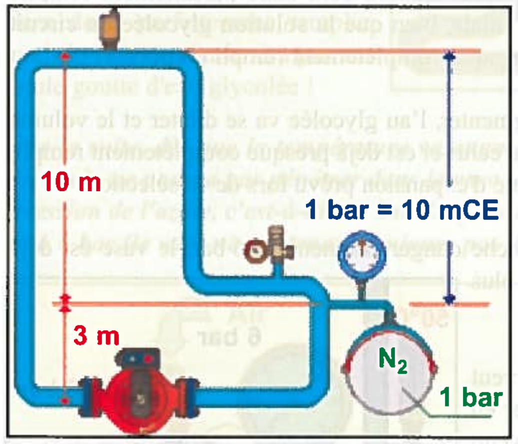
On se trouve alors confronté exactement aux mêmes problèmes que dans l'exemple de la page précédente, avec le vase gonflé à 6 bar !

Que le vase d'expansion soit trop gonflé ou pas assez gonflé, le résultat est le même : on risque de provoquer des déclenchements intempestifs de la soupape (par montée de température), mais en plus, on risque des introductions parasites d'air dans le circuit (par baisse de température).



Un vase d'expansion est livré par le fournisseur avec une pression d'azote déterminée lors de la commande (par exemple 0,5 bar ou 1 bar ou 1,5 bar, etc.). **Si vous ne connaissez pas la valeur exacte de pressurisation d'un vase, prenez un manomètre de " garagiste " et contrôlez-la avant de raccorder le vase :** cette précaution pourra vous éviter bien des ennuis par la suite (le vase est équipé d'une valve identique à celle que l'on trouve sur les pneus de VTT).

Il est très important de contrôler la pression de gonflage lorsque le vase est vide d'eau car si vous devez effectuer la même opération de contrôle quand il sera raccordé et que l'installation sera mise en eau, la manipulation sera beaucoup plus longue et compliquée !

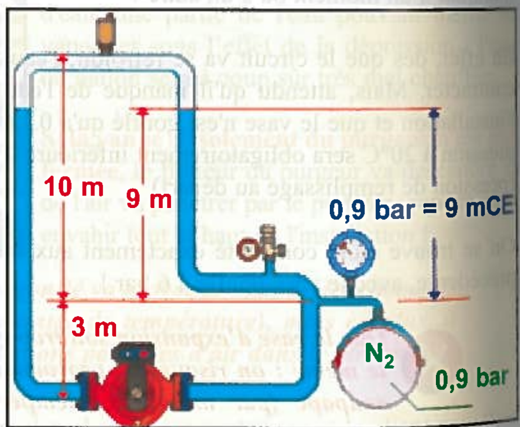


Quel que soit le type d'installation, pour obtenir la bonne pression de gonflage d'un vase, mesurez d'abord la hauteur située au-dessus du vase.

Prenons comme exemple le schéma simplifié ci-contre : Même si l'installation a une hauteur totale de 13 m, c'est le dénivelé entre le vase et le point le plus haut qui est déterminant, soit 10 m dans l'exemple.

Cette hauteur représente la colonne d'eau située entre le vase et le sommet de l'installation. Cette hauteur d'eau est donc une pression statique, et nous savons que 10 mCE = 1 bar. La membrane du vase doit donc assurer au minimum une poussée de 1 bar pour maintenir cette colonne d'eau jusqu'au sommet de l'installation.

Comprenez bien que si le vase n'est pas assez gonflé, la poussée sera trop faible pour maintenir une colonne d'eau minimale de 10 m.



Par exemple, si la pression de l'azote n'est que de 0,9 bar, la membrane ne pourra monter l'eau que de 9 m et tout le haut du circuit sera rempli d'air.

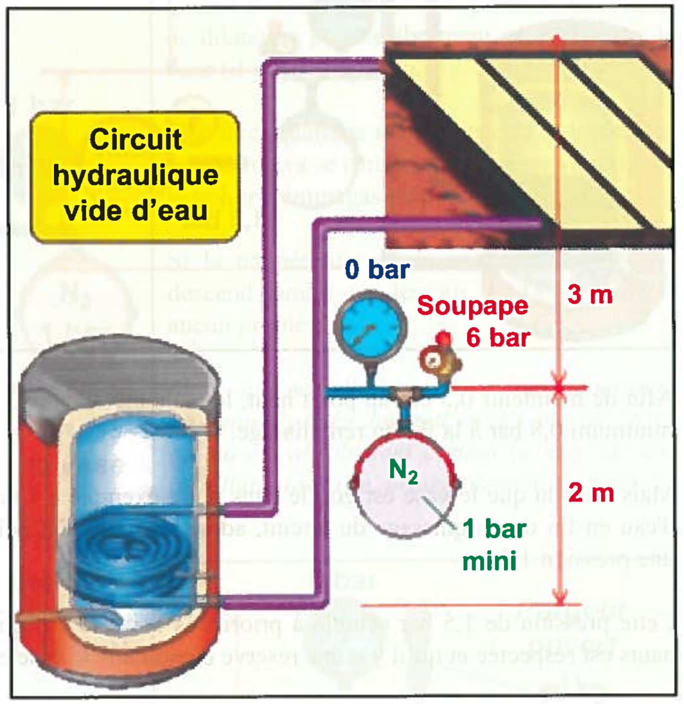
En résumé, si le dénivelé entre le vase et le haut de l'installation est de 10 m, la pression **minimale** de gonflage du vase doit être de 1 bar (soit 10 mCE)...

A NOTER : Pour mesurer la pression de gonflage d'un vase, vous pouvez aussi utiliser un manomètre de frigoriste avec un flexible muni d'un " embout schrader ".

En appuyant fermement cet embout sur la valve du vase, on peut lire la pression de l'azote sur le manomètre BP. On peut alors gonfler ou dégonfler le vase.

Ces préliminaires étant faits, reprenons notre installation solaire.

Pour obtenir la bonne pression de gonflage, il faut donc d'abord mesurer la hauteur de l'installation située au-dessus du vase. Dans notre exemple, admettons que l'on trouve 3 m.



Comme nous venons de le voir, la pression *minimale* de gonflage doit donc être de 0,3 bar.

Cependant, attendu que cette mesure est généralement effectuée avec un manomètre de chantier plus ou moins précis, il est recommandé de s'assurer une marge de sécurité en majorant cette valeur d'au moins 0,2 à 0,5 bar.

Sur notre installation solaire, nous devons donc gonfler ce vase vide d'eau à une pression ***MINIMALE*** de 0,5 bar.

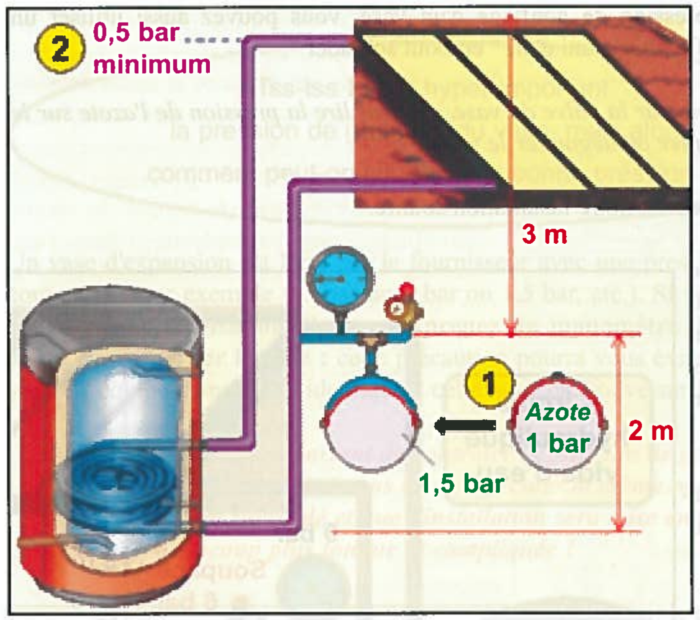
De plus, à cause de la perméabilité de leur membrane, de nombreux vases perdent de la pression d'azote (jusqu'à 2% par mois pour une membrane en latex ou en EPDM (caoutchouc synthétique Éthylène Propylène Diene Monomer) et jusqu'à 0,1% par mois pour un membrane en butyl).

Il est donc conseillé de rajouter encore 0,5 bar à la pression de gonflage, ce qui nous amène dans notre exemple à un minimum de 1 bar.

A NOTER : Si le vase est très largement surdimensionné (la tendance actuelle est de sélectionner la capacité du vase pour un volume de 2 à 3 fois le volume calculé), vous pouvez sans aucun risque " surgonfler " le vase de notre exemple à 1 bar, voire à 1,5 bar.

Certes, l'azote prendra de la place supplémentaire, mais comme le volume total accessible à l'eau glycolée est lui aussi surdimensionné, il n'y aura pas de risque de soulèvement de la soupape aux températures normales de fonctionnement.

Nous verrons très bientôt que ce léger " surgonflage " n'est parfois pas inutile...



Admettons que l'on décide de gonfler le vase d'expansion *vide d'eau* à une pression minimale de 1 bar (**repère 1**).

Quelle que soit l'installation, on admet que la pression en chaque point d'un circuit ne doit jamais devenir inférieure à 0,5 bar (**repère 2**) afin d'éviter tout risque d'entrée d'air parasite par les points hauts,

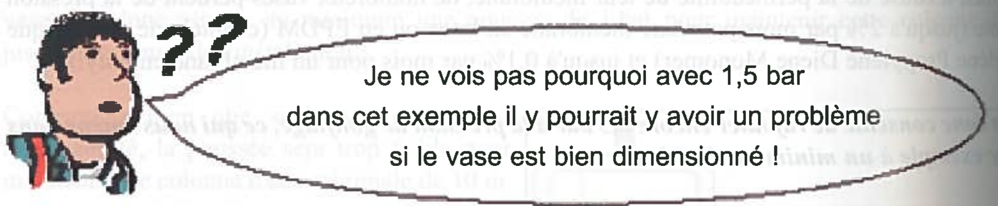
Or, le manomètre sur lequel on lit la pression de remplissage est situé 3 m en dessous du point haut de l'installation (il subit donc une hauteur manométrique de 3 mCE, soit 0,3 bar).

Afin de maintenir 0,5 bar au point haut, le manomètre situé 3 m plus bas devra donc indiquer au minimum 0,8 bar à la fin du remplissage.

Mais attendu que le vase est gonflé dans notre exemple à 1 bar et qu'il doit contenir une réserve d'eau en fin de remplissage du circuit, admettons que l'on pousse le remplissage jusqu'à obtenir une pression 1,5 bar.

Cette pression de 1,5 bar semble à priori très correcte puisque la pression minimale aux points hauts est respectée et qu'il y a une réserve d'eau dans le vase en fin de remplissage.

Toutefois, cette pression de 1,5 bar risque malgré tout d'être parfois insuffisante, surtout sur un circuit de panneaux solaires.



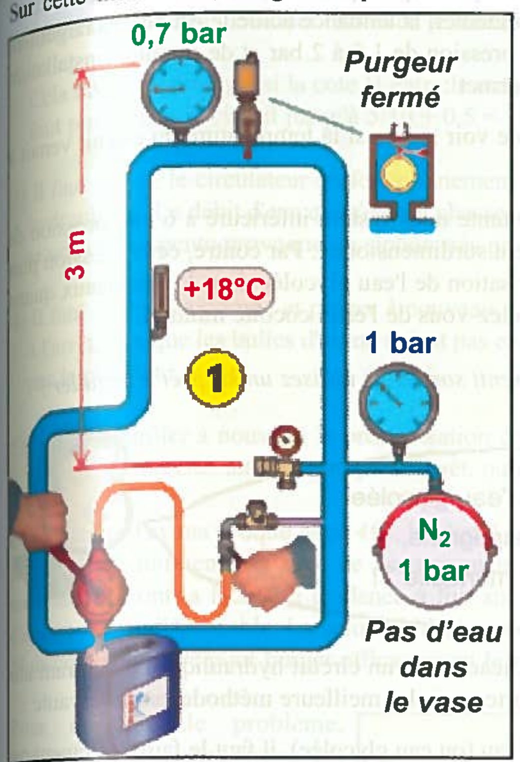
Pour répondre à Alexis, il faut savoir que la pression minimale de remplissage d'un circuit hydraulique dépend principalement de 2 paramètres :

1. La pression de prégonflage de l'azote dans le vase d'expansion (qui dépend de la hauteur de l'installation située au-dessus du vase, comme nous venons de le voir).
2. Mais également de la température du circuit au moment du remplissage.

En quoi la température du circuit au moment du remplissage peut-elle poser problème ?

Auriez-vous une idée avant de lire la suite ?

Sur cette installation, imaginons qu'au moment du remplissage, la solution d'eau glycolée soit à 18°C et que le vase d'expansion soit gonflé à 1 bar. A la mise en service, le technicien décide d'arrêter le remplissage quand le mano indique 1 bar. Notez qu'à ce moment il n'y a pas une seule goutte d'eau qui a pu pénétrer dans le vase d'expansion (**schéma 1**).



Quand la température va augmenter, le volume de dilatation pourra librement pénétrer dans le vase (il y a de la place).

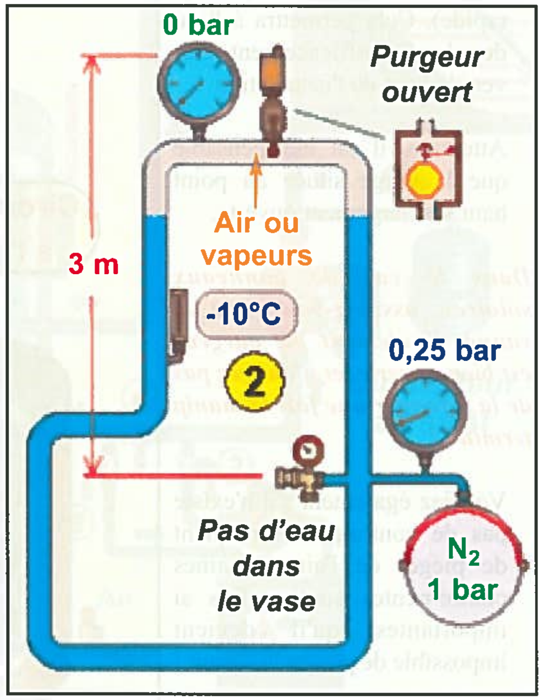
Plus tard, quand la température va redescendre, la solution va se contracter et le vase va restituer le volume emmagasiné précédemment.

Si la température de la solution glycolée ne descend jamais en dessous de 18°C, il n'y a aucun problème.

Mais, que va-t-il se passer si la température de l'eau glycolée descend en dessous de 18°C, ce qui est absolument certain la nuit sur une installation solaire, principalement en hiver?

Attendu qu'il n'y a pas une seule goutte d'eau en réserve dans le vase, la contraction de la solution glycolée en dessous de 18°C ne pourra pas être compensée par le vase.

Si la vanne manuelle du purgeur est restée ouverte (ou s'il n'y a pas de vanne), de l'air va pénétrer par ce purgeur automatique et envahir le haut de l'installation (**schéma 2**).



Si la vanne manuelle du purgeur est fermée, la brutale chute de pression provoquée par la contraction de l'eau glycolée va provoquer la vaporisation d'une partie du liquide et le haut du circuit sera rempli de vapeurs.

Au lieu d'arrêter le remplissage à 1 bar, si le technicien l'avait stoppé par exemple à 1,5 bar, ce qui serait sans danger *si le vase est largement dimensionné*, du liquide aurait pu pénétrer dans le vase à 18°C.

A ce moment, quand la température serait descendue, ce liquide aurait pu compenser la contraction de l'eau glycolée.

A NOTER : De trop nombreux problèmes sont provoqués par une mauvaise sélection et un mauvais réglage des vases d'expansion. Pour y remédier, la tendance actuelle est de très largement surdimensionner le vase, de le prégonfler à une pression de 1,5 à 2 bar et de remplir l'installation jusqu'à 3 bar avec de l'eau à 18 ou 20°C. Cela permet :

1. **En hiver,** d'éviter le risque que nous venons de voir même si la température du circuit venait à descendre à -10°C.

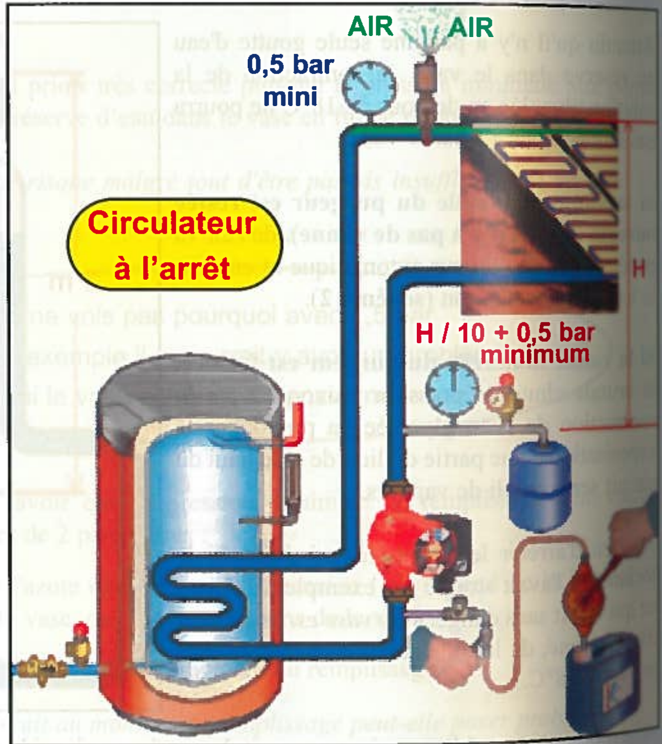
2. **En été,** la pression du circuit sera plus importante mais restera inférieure à 6 bar, pression de tarage de la soupape, si le vase est correctement surdimensionné. Par contre, cette pression plus élevée permettra d'éviter tout risque de vaporisation de l'eau glycolée dans les panneaux quand la température dépassera 100 ou 110°C (rappelez-vous de l'effet cocotte minute).

Si vous êtes inexpérimenté, ne jouez pas à l'apprenti sorcier et utilisez un kit prêt à installer !



Alexis a beau faire de l'humour, pour remplir efficacement un circuit hydraulique en assurant une purge efficace de l'air, il ne faut pas faire n'importe quoi. La meilleure méthode est la suivante :

1) Lorsque l'on remplit un circuit quelconque en eau (ou eau glycolée), il faut le faire lentement par le point bas (pas de remplissage rapide). Cela permettra à l'eau de chasser efficacement l'air vers le haut de l'installation.



Attention, il est indispensable que la purge située au point haut soit largement ouverte.

Dans le cas de panneaux solaires, assurez-vous que la vanne d'isolement du purgeur est bien ouverte, et n'oubliez pas de la refermer une fois la manip terminé !

Vérifiez également s'il n'existe pas de contre-pentes risquant de piéger de l'air. Certaines contre-pentes sont parfois si importantes qu'il devient impossible de purger le circuit !

2) **Circulateur à l'arrêt**, il faut pressuriser le circuit...

Comme nous l'avons déjà vu, il est recommandé d'avoir au point haut une pression minimum d'au moins 0,5 bar afin d'évacuer l'air avec le maximum d'efficacité.

Cela revient à dire que si la cote H entre le mano et le haut de l'installation = 5 m par exemple, il faut pressuriser le circuit jusqu'à 5/10 + 0,5 = 1 bar au minimum.

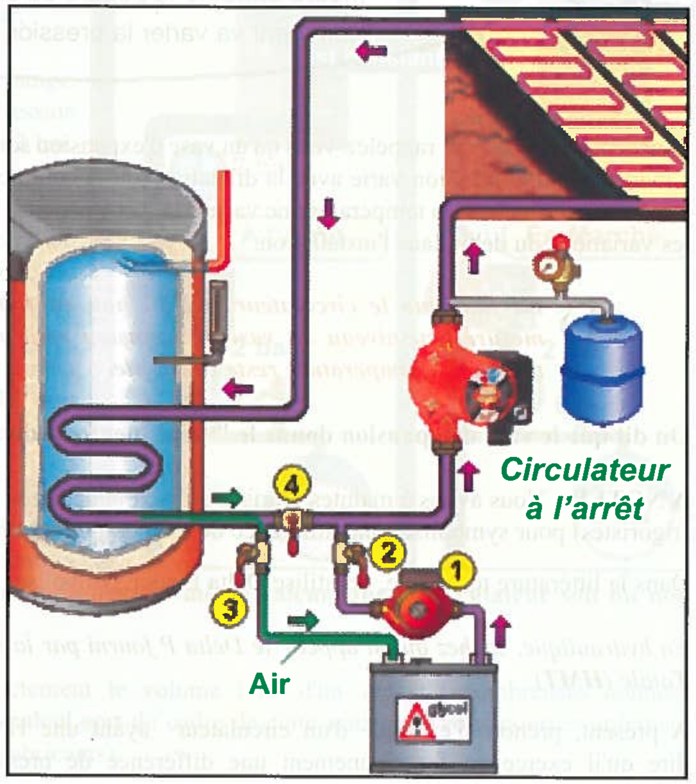
3) Il faut mettre le circulateur en fonctionnement de 2 à 10 minutes selon la complexité du circuit hydraulique. Le débit d'eau qui s'établit chasse ainsi les éventuelles poches d'air vers le haut (sauf si une contre-pente provoque un siphon très prononcé).

4) Il faut stopper la pompe et purger à nouveau. La purge ne peut être efficace que si la pompe est à l'arrêt, afin que les bulles d'air ne soient pas entraînées par le courant d'eau avant d'être évacuées par le purgeur.

5) Il faut contrôler à nouveau la pressurisation comme au point 2) et recommencer les opérations (pompe en marche, attente, pompe à l'arrêt, purge) autant de fois que nécessaire.

Comme nous l'avons évoqué *page 495*, le glycol est un fluide plus " mouillant " que l'eau et certains joints qui ne fuiraient pas avec de l'eau risquent de fuir avec du glycol. De même, les purgeurs automatiques ont la fâcheuse tendance à fuir sur ce type de circuit, rendant la vanne d'isolement d'autant plus indispensable. La solution idéale serait donc de supprimer le purgeur automatique. Mais comment faire pour purger efficacement le circuit durant le remplissage ?

Pour résoudre le problème, certains constructeurs proposent aujourd'hui une pompe électrique de remplissage (**repère 1**).



Dans le local technique, tout en bas du circuit, on dispose d'une vanne de remplissage (**repère 2**) et d'une vanne de purge (**repère 3**) placées de part et d'autre d'une vanne de service (**repère 4**).

Pour remplir le circuit, on ferme la vanne **4**, on ouvre les vannes **2** et 3 et on démarre la pompe.

La pompe permet de remplir rapidement la tuyauterie, de bas en haut, en " poussant " comme un piston l'air emprisonné.

Cette technique n'est pas applicable si le remplissage s'effectue très lentement, par exemple avec une pompe manuelle. L'opération de purge serait alors impossible et énormément d'air resterait piégé en haut de l'installation, puisqu'il n'y a pas de purgeur.

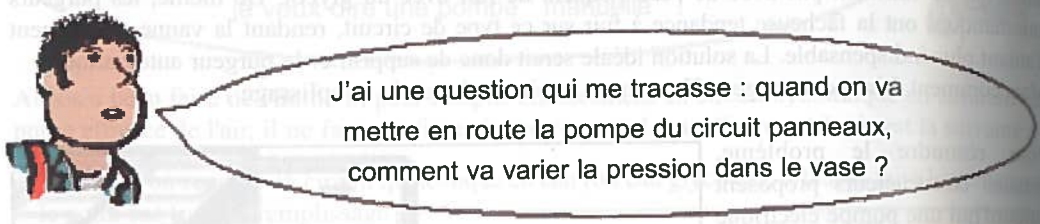
Pour créer l'effet de piston, la vitesse de l'eau glycolée injectée dans le circuit doit être supérieure à 0,45 m/s. Cela limite le diamètre des tuyauteries du circuit hydraulique (de 12 mm à 14 mm).

Lorsque la vanne de purge " crache " de l'eau glycolée sans bulles d'air, c'est que le circuit est rempli. Il suffit alors de fermer la vanne **3** et de terminer la mise sous pression du circuit.

Important : après le montage, afin de tester l'étanchéité du circuit panneaux, on le gonfle avec de l'eau. S'il n'y a pas de fuite, on ne rajoute pas du glycol pur dans le circuit : le mélange eau-glycol ne se ferait pas correctement, les proportions seraient hasardeuses et les risques de gel resteraient importants.

Il faut vidanger totalement l'eau utilisée pour tester l'étanchéité puis remplir le circuit avec la solution d'eau glycolée préparée avec la concentration désirée.

Par la suite, si vous êtes amené à faire un appoint de fluide solaire, utilisez toujours la même solution que celle d'origine (il existe différents glycols, pas toujours compatibles). Aussi, lorsqu'une installation contient de l'eau glycolée il est impératif de l'étiqueter en indiquant la nature exacte du fluide utilisé.



Pour répondre à Alexis, rappelez-vous qu'un vase d'expansion sous pression d'azote est un récipient " inerte " dont la pression varie avec la dilatation (ou la contraction) du liquide en fonction de la température. Tant que la température ne varie pas, cette pression reste constante quelles que soient les variations du débit dans l'installation.

En fait, que le circulateur soit ou non en fonctionnement, la pression mesurée au niveau du vase d'expansion reste rigoureusement constante tant que la température reste constante.

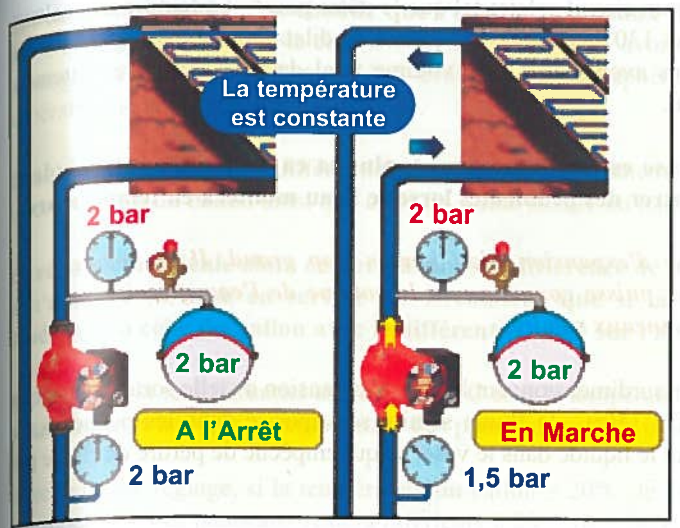
On dit que le vase d'expansion donne le " point neutre " du circuit hydraulique.

A NOTER : Nous avons à maintes reprises utilisé l'appellation Delta T (ou Δθ très utilisé par les frigoristes) pour symboliser une différence de température.

Dans la littérature technique, on utilise Delta P pour symboliser une différence de Pression.

*En hydraulique, sachez qu'on appelle le Delta P fourni par la pompe la **Hauteur Manométrique Totale (HMT)**.*

A présent, prenons l'exemple d'un circulateur ayant une HMT de 5 mCE, ce qui revient à dire qu'il exerce en fonctionnement une différence de pression entre son aspiration et son refoulement de 0,5 bar...



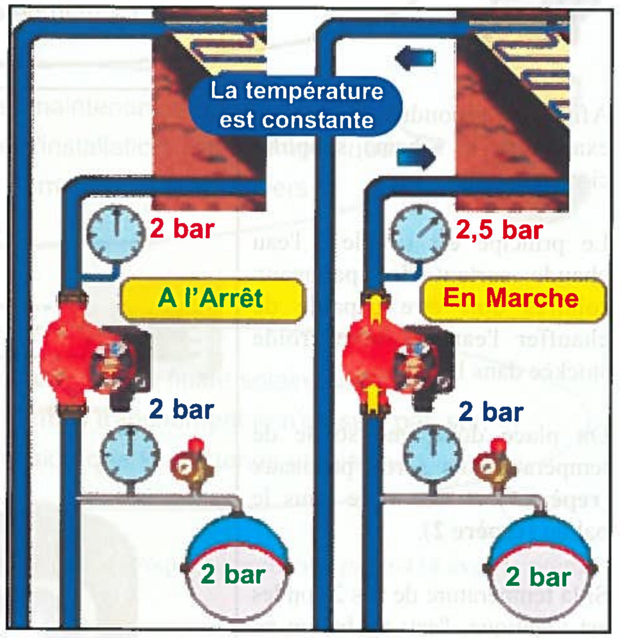
Sur le schéma de gauche, la pompe est à l'arrêt. Pression de refoulement = P d'aspiration = P du vase = 2 bar.

A NOTER : nous avons admis que le dénivelé entre les deux manomètres est très faible, sinon, comme nous l'avons déjà vu, le mano d'aspiration indiquerait 2 bar + le dénivelé.

Par exemple, avec un dénivelé de 1 m (soit 0,1 bar) le mano d'aspiration indiquerait 2,1 bar.

Sur le schéma de droite, on met le circulateur en service. La pression de refoulement reste constante et égale à celle du vase d'expansion, soit 2 bar. Par contre, la pression d'aspiration diminue de la valeur du Delta P du circulateur (c'est-à-dire de sa HMT), soit 0,5 bar et le mano indique alors 2 - 0,5 = 1,5 bar.

A présent, reprenons exactement la même installation mais en plaçant le vase à l'aspiration du circulateur.



La pompe étant à l'arrêt, rien n'a changé. La Pression de refoulement = la Pression d'aspiration = la Pression du vase = 2 bar.

Par contre, lorsqu'on met le circulateur en service, c'est la pression d'aspiration qui reste constante et égale à celle du vase d'expansion, soit 2 bar.

Bien sûr, la pression de refoulement augmente de la valeur de la HMT, soit 0,5 bar dans notre exemple et le mano indique alors 2 + 0,5 = 2,5 bar.

Pour conclure, tant que la température du circuit ne variera pas, le mano placé à côté du vase d'expansion indiquera la même valeur, que le circulateur soit ou non en fonctionnement.

A NOTER : Pour calculer exactement le volume total d'un vase de nombreuses données sont nécessaires, mais ce type de calcul sort du cadre de cette initiation (vous pourrez utilement consulter les documentations des fabricants).

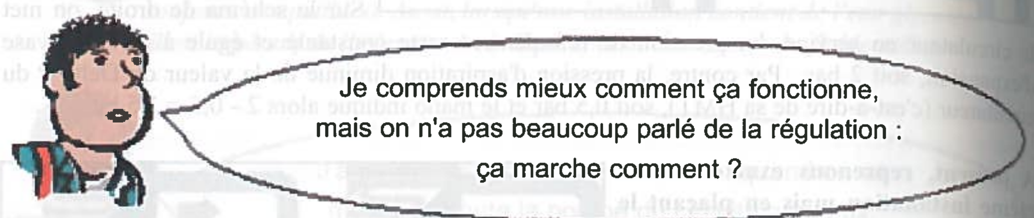
Trop souvent le vase est " le personnage oublié " d'une installation. Il est donc choisi d'une façon arbitraire, ce qui occasionne de nombreuses pannes (vase mal gonflé, trop petit, mal installé, etc.).

Les amplitudes de température sur un circuit solaire tel que le nôtre pouvant atteindre des valeurs très importantes (-15°C en hiver et 130°C en été), le volume de dilatation de l'eau glycolée est également très important. Or, nous avons vu que le volume total du vase doit être nettement supérieur à ce volume de dilatation.

D'une façon générale, plus un vase est surdimensionné, plus sa capacité utile est grande et moins il y a de risques de rencontrer des problèmes lorsque l'eau montera en température.

En résumé, un vase d'expansion n'est jamais trop grand. Il est même conseillé que le vase puisse contenir tout le volume de l'eau glycolée se trouvant dans les panneaux solaires.

A NOTER : Certains constructeurs surdimensionnent le vase d'expansion de telle sorte que lorsque les températures dépassent 120°C / 150°C, le fluide solaire se vaporise dans les panneaux, la pression de vapeur chasse alors tout le liquide dans le vase, ce qui empêche de perdre du fluide par la levée de la soupape.



Afin de répondre à Alexis, examinons le schéma simplifié ci-contre.

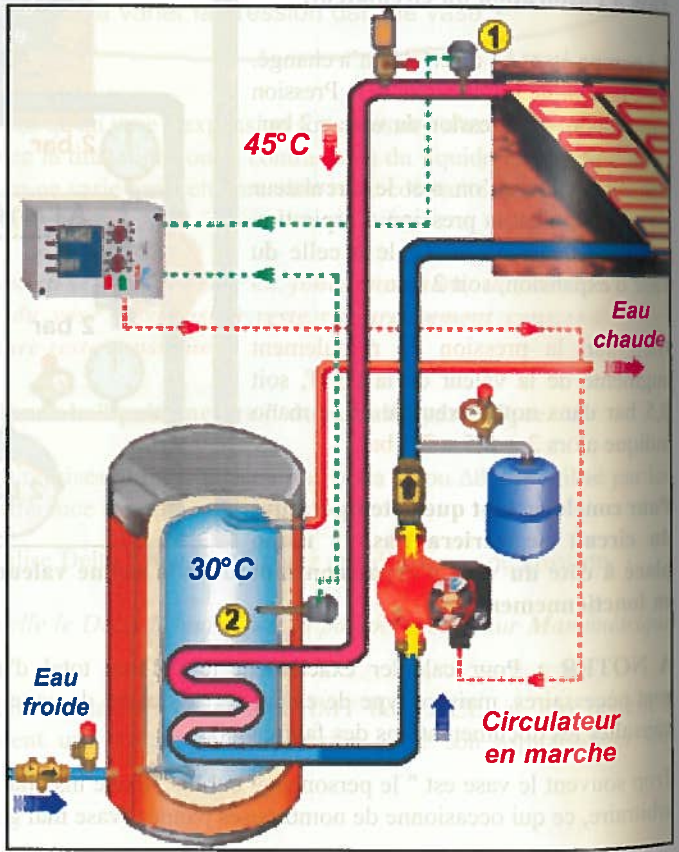
Le principe est simple : l'eau chaude sortant des panneaux solaires doit être capable de chauffer l'eau sanitaire froide stockée dans le ballon.

On place donc une sonde de température en sortie panneaux **(repère 1)** et une autre dans le ballon **(repère 2)**.

Si la température de ces 2 sondes est identique, l'eau du ballon ne pourra pas être chauffé.

Dans ce cas, le circulateur doit être à l'arrêt (en effet, pourquoi consommer de l'électricité pour rien ?).

Avez-vous une idée de ce que vous allez lire page suivante ?



Si l'eau sanitaire est plus chaude que l'eau des panneaux (parce qu'il n'y a plus de soleil ou parce qu'il fait nuit) et que le circulateur fonctionne, nous avons vu *page 506* que toute la chaleur emmagasinée dans le ballon va être évacuée à l'atmosphère par les panneaux : il est alors impératif que le circulateur soit à l'arrêt.

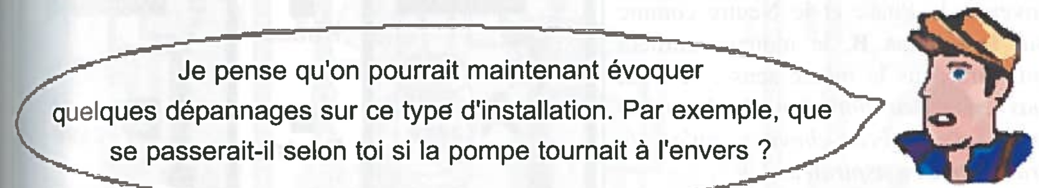
C'est le rôle du régulateur différentiel d'assurer un fonctionnement logique. Ses 2 sondes mesurent la température du ballon ainsi que celle du fluide solaire en haut des panneaux.

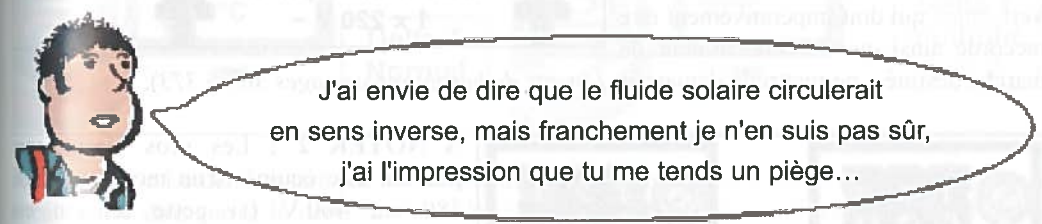
Le régulateur calcule alors en permanence la différence de température entre les 2 sondes et il n'autorise la mise en service du circulateur que si la température des panneaux est supérieure à celle du ballon avec le différentiel réglé sur l'appareil.

Par exemple, si le différentiel est réglé à 10°C et si la température du ballon = 30°C, le circulateur restera à l'arrêt tant que la température des panneaux restera inférieure à 30 + 10 = 40°C.

Avec le même réglage, si la température du ballon = 20°C, le circulateur restera à l'arrêt tant que la température des panneaux restera inférieure à 20 + 10 = 30°C.

A NOTER : Afin d'optimiser la récupération de chaleur en hiver, la tendance actuelle est d'enclencher le circulateur quand l'écart entre les 2 sondes devient supérieur 10°C, et de le couper quand cet écart diminue en dessous de 4°C.



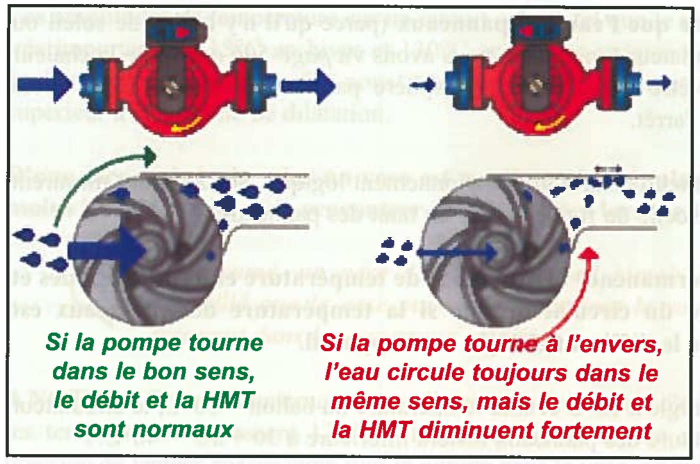


Alexis a raison de se méfier. En fait nous avons déjà évoqué ce problème *page 454* avec la pompe permettant de remplir le château d'eau.

Rappelez-vous : les pales de la turbine d'une pompe sont inclinées avec un angle très précis afin d'obtenir un débit et une pression conformes aux spécifications du constructeur.

Si la pompe tourne à l'envers, l'angle des pales est inversé, l'eau continue de circuler dans le même sens mais le débit et la pression diminuent très fortement.

En fait, si les pales de la turbine " attaquent " le liquide à l'envers, il se produit à peu la même chose que si vous essayez de manger votre soupe avec le dos de la cuillère !

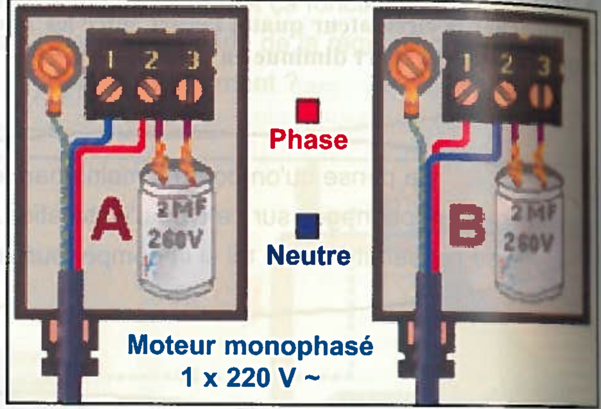


Sur les petites installations telle que la nôtre, on utilise le plus souvent du courant monophasé 220 V (en fait une tension comprise entre 220 et 240 V, selon le lieu), c'est-à-dire avec Phase + Neutre + Terre.

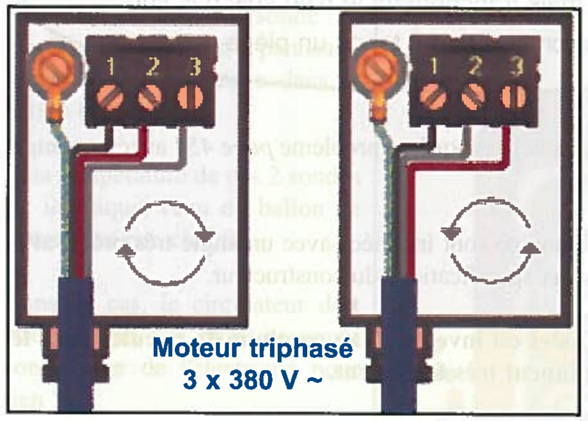
Afin de faciliter les opérations de câblage et de mise en service des circulateurs monophasés 220 V actuels, leur sens de rotation est déterminé par le constructeur au moment de la fabrication.

Il n'est donc pas possible de modifier le sens de rotation de ces appareils. De ce fait, si vous avez bien repéré le sens de passage de l'eau indiqué par une flèche sur le circulateur et si celui-ci est positionné dans le bon sens dans le circuit, il n'y a aucune possibilité pour que l'eau puisse circuler à l'envers.

A NOTER 1 : Sur les circulateurs monophasés 220 ou 240 V vous pouvez inverser la Phase et le Neutre comme sur le schéma **B**, le moteur tournera toujours dans le même sens : *ce n'est pas en retournant d'un demi-tour la prise d'un sèche-cheveux qu'on le transforme en aspirateur !*



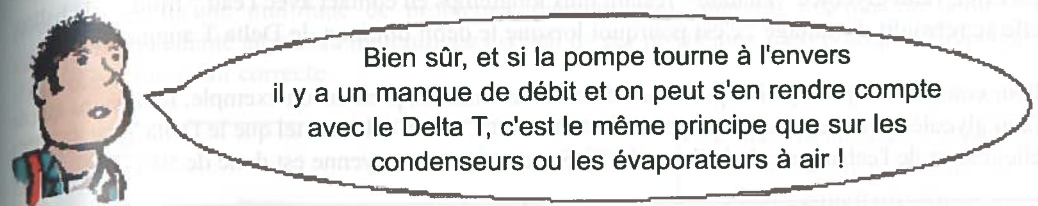
Vous reconnaissez le fil de Terre Vert-Jaune qui doit impérativement être raccordé ainsi que le condensateur de marche destiné à permettre le démarrage (*en cas de besoin revoir pages 369 à 373*).



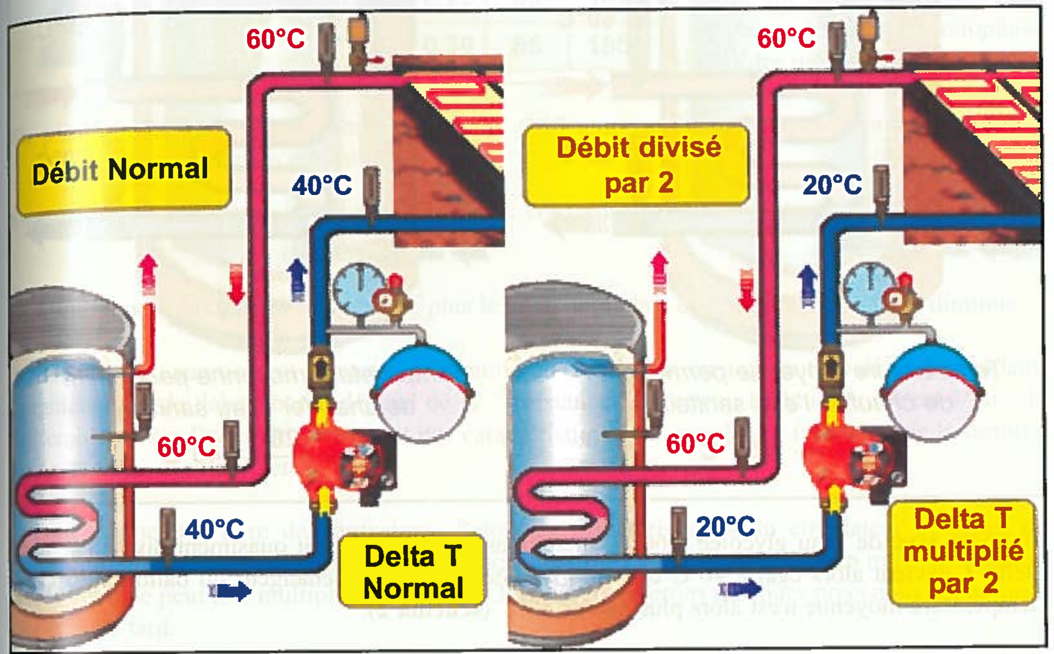
A NOTER 2 : Les gros circulateurs peuvent être équipés d'un moteur triphasé 380 ou 400 V (si cette tension est disponible chez votre client). Il y a alors 4 fils au lieu de 3 : 3 fils de phase + un fil de terre Vert-Jaune.

Pour inverser le sens de rotation de ces moteurs, il suffit de permuter 2 fils de phase quelconques (sauf le fil de Terre vert-jaune, bien entendu).

Dans l'exemple ci-contre, avec le câblage de gauche, le moteur tourne dans le sens des aiguilles d'une montre. En permutant par exemple les fils marron et gris (câblage de droite) le moteur (et donc la pompe) tournera dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

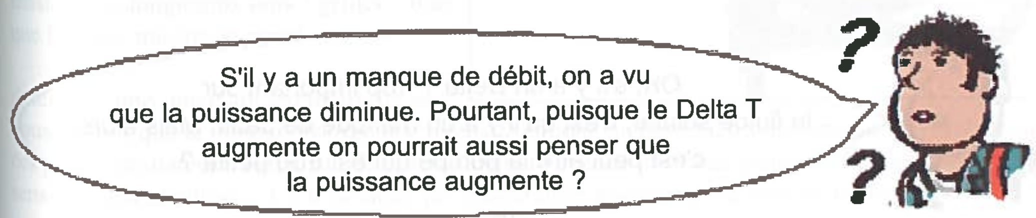


Alexis a parfaitement raison. Pour bien préciser les symptômes, prenons un exemple. Admettons que l'eau glycolée sorte des panneaux à 60°C. Si le débit diminue, l'eau glycolée à 60°C traverse l'échangeur du ballon beaucoup plus lentement (sa vitesse diminue). Attendu que l'eau glycolée " chaude " reste alors plus longtemps en contact avec l'eau " froide " du ballon, elle se refroidit davantage : c'est pourquoi lorsque le débit diminue, le Delta T augmente.



A NOTER 1 : Le débit assuré par le circulateur est rigoureusement le même en chaque point du circuit. C'est dire que si le débit diminue, la vitesse de l'eau glycolée qui traverse les panneaux solaires diminue également. L'eau glycolée " froide " qui entre dans les panneaux reste donc plus longtemps en contact avec le rayonnement solaire et elle s'échauffe davantage. C'est pourquoi le Delta T sur les panneaux augmente et devient identique à celui sur l'échangeur.

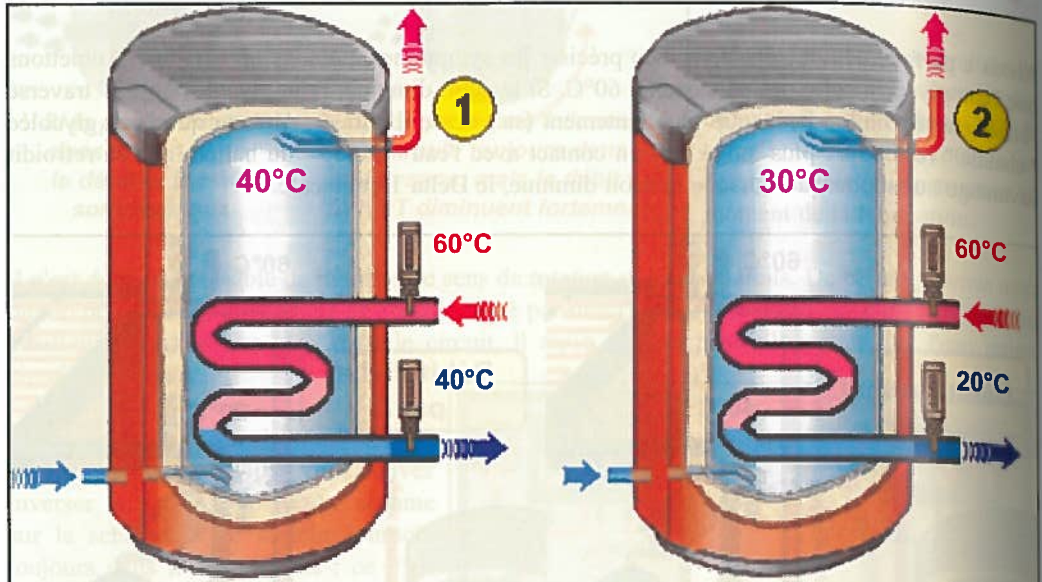
A NOTER 2 : Pour une même puissance transmise par un échangeur, si le débit est divisé par 2 le Delta T est multiplié quasiment par 2.



Dépannage

En effet, l'eau glycolée " chaude " restant plus longtemps en contact avec l'eau " froide " du ballon, elle se refroidit davantage : c'est pourquoi lorsque le débit diminue, le Delta T augmente.

Pour comprendre pourquoi la puissance de chauffe diminue, prenons un exemple. Imaginons que de l'eau glycolée pénètre ans l'échangeur du ballon à 60°C. Si le débit est tel que le Delta T est de 20°C, elle ressort de l'échangeur du ballon à 40°C. Sa température moyenne est donc de 50°C (**schéma 1**).



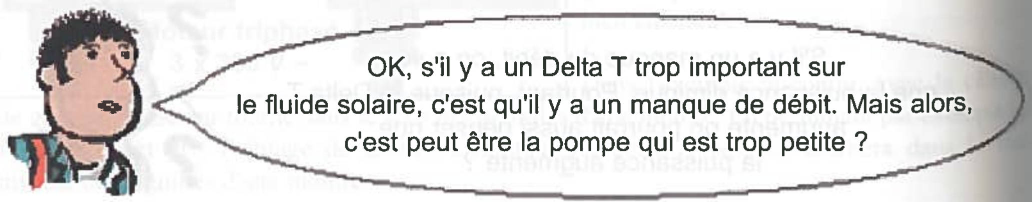
Température moyenne permettant de chauffer l'eau sanitaire : $\frac{60 + 40}{2} = 50°C$

Température moyenne permettant de chauffer l'eau sanitaire : $\frac{60 + 20}{2} = 40°C$

Toujours avec de l'eau glycolée à 60°C, imaginons que le débit soit quasiment divisé par 2. Le Delta T devient alors égal à 40°C et l'eau glycolée ressort de l'échangeur du ballon à 20°C. Sa température moyenne n'est alors plus que de 40°C (**schéma 2**).

Il est bien évident que plus la température moyenne du fluide servant à chauffer l'eau du ballon est élevée, plus la température de l'eau sanitaire sera élevée. Ainsi, avec un débit plus faible dans l'échangeur, le Delta T augmente, la température moyenne de l'élément chauffant diminue, la puissance de chauffe diminue et la température de l'eau chaude sanitaire diminue également.

A NOTER : S'il y a un manque de débit, l'eau sanitaire mettra beaucoup plus de temps pour chauffer. En été, cela n'est la plupart du temps pas un problème puisque l'énergie solaire disponible est généralement supérieure à la demande. Par contre, en hiver, le ballon ne pourra pas emmagasiner toute l'énergie solaire, déjà très limitée, qui sera disponible dans la journée.



Nous verrons qu'une multitude de problèmes peuvent provoquer un manque de débit. Un circulateur non adapté au réseau hydraulique est l'un de ces problèmes, c'est pourquoi l'hypothèse d'Alexis est tout à fait correcte.



Réglage de la vitesse

	A	W	Tr/mn
1	0,15	35	1100
2	0,23	50	1475
3	0,30	65	1850

De très nombreux circulateurs sont équipés d'un réglage de la vitesse permettant d'ajuster le débit circulant dans l'installation afin d'obtenir un Delta T correct et donc un fonctionnement satisfaisant.

A titre d'exemple, nous avons relevé sur la plaque signalétique de ce circulateur monophasé 220V les indications suivantes :

En position 1, le circulateur absorbe environ 0,15 ampères, consomme 35 watts et tourne à 1100 tours par minute.

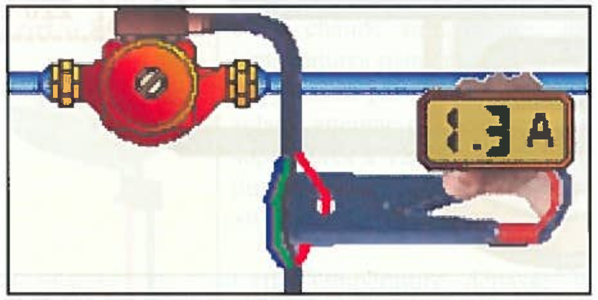
En position 3, il absorbe environ 0,3 ampères, consomme 65 watts et tourne à 1850 tours par minute.

Bien sûr, plus le circulateur tourne vite, plus le débit augmente et donc plus le Delta T diminue.

A NOTER : En augmentant la vitesse de rotation du circulateur, on augmente le débit. Cependant, l'augmentation de débit obtenu dépend de la " résistance " du circuit hydraulique (c'est-à-dire de l'ensemble de ses Pertes de Charge) et des caractéristiques du circulateur (diamètre de la turbine, forme et angle des pales, etc.).

Attention à ne pas faire de confusions. Selon les caractéristiques du circulateur et celles de l'installation, le débit peut varier au grand maximum de 20%, souvent beaucoup moins. En aucun cas, le débit ne peut être multiplié par 2 ou par 3. Nous apporterons quelques précisions sur ce sujet un peu plus tard.

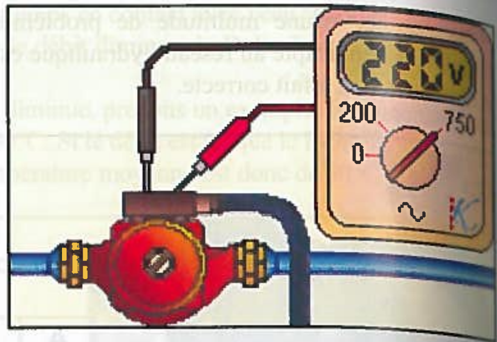
Nous avons vu *page 448* que le refroidissement du moteur de ces petits circulateurs est assuré par l'eau du circuit. C'est pourquoi ces petits appareils risquent de se gripper s'ils restent à l'arrêt pendant quelques mois (c'est un problème fréquent à la remise en service des circuits de chauffage).



Les fabricants utilisent donc des moteurs qui peuvent supporter de rester sous tension très longtemps sans " griller " bien que bloqués mécaniquement.

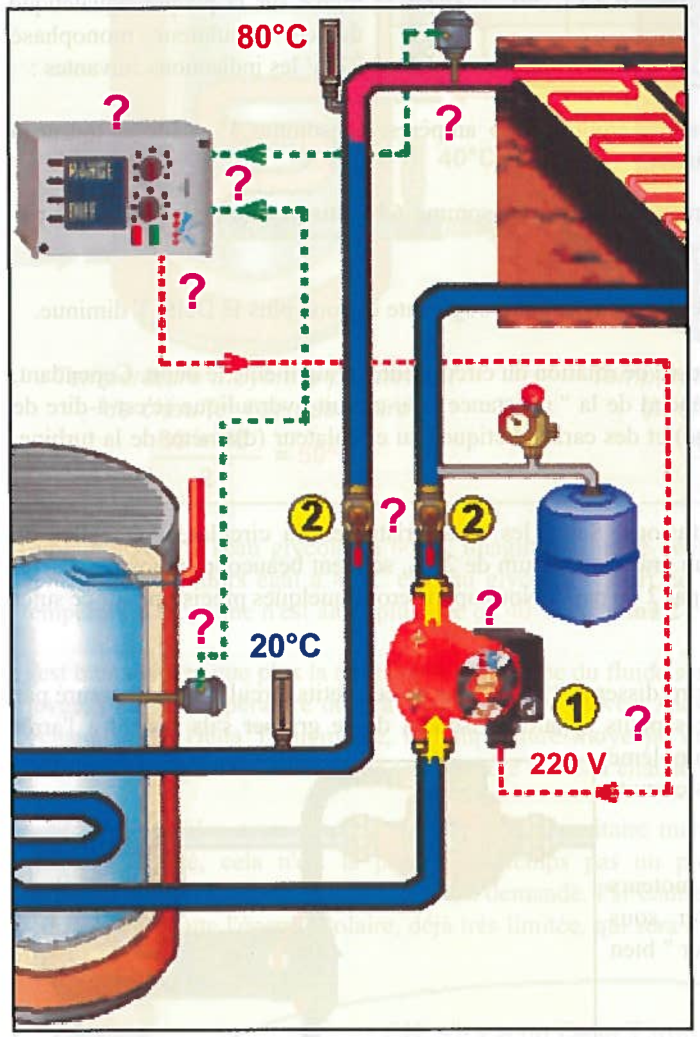
Attention, une pince ampèremétrique peut vous assurer que le moteur absorbe une intensité et donc qu'il est bien sous tension. Cependant, sur ces petits circulateurs, l'intensité de fonctionnement et celle absorbée quand le rotor est bloqué sont sensiblement identiques. Ce n'est donc pas l'assurance absolue que le moteur tourne...

De même, ce n'est pas parce qu'il y a une tension aux bornes du moteur qu'il tourne, puisqu'il peut être grippé.



Enfin, si vous collez l'oreille au circulateur, faites attention à ne pas vous brûler, le moteur peut être très chaud ! Même en utilisant un tournevis en guise de stéthoscope, vous pourrez entendre un grognement (si le moteur est grippé) mais vous n'aurez pas l'assurance qu'il tourne !

Avant de voir comment dégripper le moteur, prenons un exemple pour mettre en évidence les symptômes d'un circulateur n'assurant aucun débit dans l'installation.



La température de l'eau glycolée à la sortie des panneaux (80°C dans l'exemple) est très nettement supérieure à celle mesurée à l'intérieur du ballon (20°C).

Le régulateur différentiel doit donc donner au circulateur l'ordre de fonctionner en lui envoyant 220 V (**repère 1**).

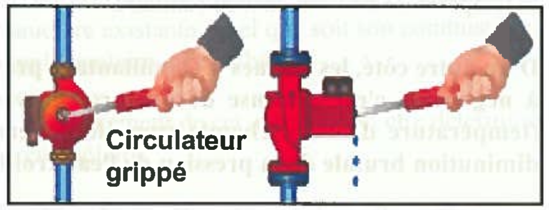
S'il n'y a pas 220 V aux bornes du moteur bien que son éventuel interrupteur Marche/Arrêt soit bien fermé, il y a un problème *soit au niveau du régulateur* (est-il sous tension, bien câblé et bien réglé ?), *soit sur l'une des deux sondes* (sonde ou câble coupé ou en court circuit ?).

Notez qu'une erreur de câblage est également possible : si le raccordement des 2 sondes sur le régulateur a été interverti, le circulateur ne pourra jamais démarrer (il faudrait pour cela que la température de l'eau du ballon devienne supérieure à celle des panneaux !).

Si le 220 V arrive bien sur le bornier du circulateur, le régulateur et ses sondes de température sont hors de cause.

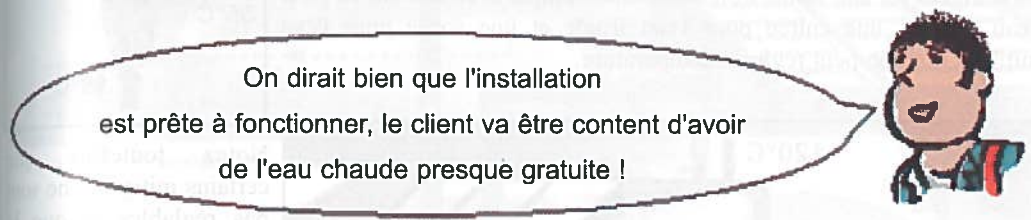
Bien sûr, si l'une des 2 vannes de service (**repères 2**) est fermée, il ne peut y avoir aucun débit même avec le circulateur en fonctionnement...

L'eau chaude resterait alors bien sagement en haut de l'installation et ne pourrait pas redescendre pour chauffer l'eau du ballon : les symptômes seraient identiques à ceux d'un circulateur grippé ou hors service.

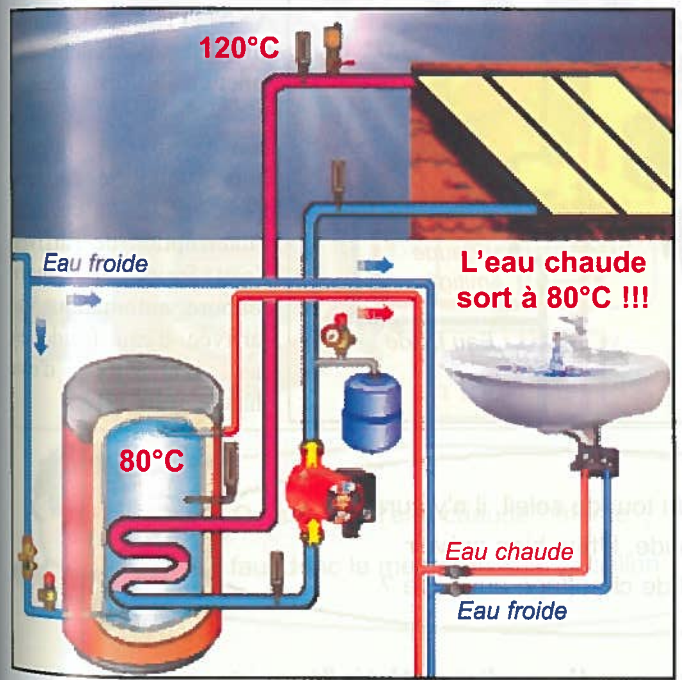


Si le circulateur est grippé, il faut dévisser la vis centrale afin d'apercevoir l'extrémité du rotor. La fuite d'eau est normalement très faible (c'est un léger goutte à goutte provenant du petit canal qui distribue l'eau permettant le refroidissement du moteur), toutefois **faites attention aux éventuelles projections surtout si l'eau est chaude.** Une lampe électrique pourra utilement vous aider à voir si le rotor tourne effectivement.

A NOTER : Si le circulateur est grippé, la vis de purge située en bout d'arbre permet de le dégripper. Même si la plupart des circulateurs possèdent une auto purge, la vis centrale peut également servir à purger l'air qui pourrait être bloqué à l'intérieur du circulateur. En effet, si de l'air reste prisonnier côté moteur, la circulation de l'eau permettant le refroidissement du moteur ne se fait plus correctement, ce qui peut provoquer à la longue la destruction du circulateur.



En effet, le client va avoir de l'eau chaude mais il n'est pas sûr qu'il soit content très longtemps car l'eau risque d'être beaucoup trop chaude et de provoquer un accident !



En effet, lorsque l'ensoleillement sera maximum pendant une longue période, par exemple en plein été, l'énergie solaire fournie par les panneaux sera bien souvent supérieure aux besoins en eau chaude sanitaire.

En conséquence, si les soutirages d'eau chaude sont faibles, les températures risquent augmenter. Il n'est alors pas rare que le fluide solaire atteigne des températures supérieures à 120°C et que l'eau du ballon atteigne ou dépasse 80°C.

Cette température dépasse la limite légale de distribution d'eau chaude sur les points de puisage qui ne doit pas dépasser 60°C afin éviter les brûlures graves.

Dépannage

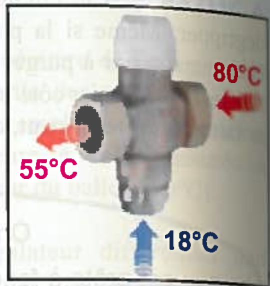
Nous avons déjà parlé des colonies de légionelles qui risquent de se développer dans les eaux stagnantes à moins de 50°C. Pour éviter ce type de problème, la tendance serait d'augmenter la température de l'eau chaude sanitaire.

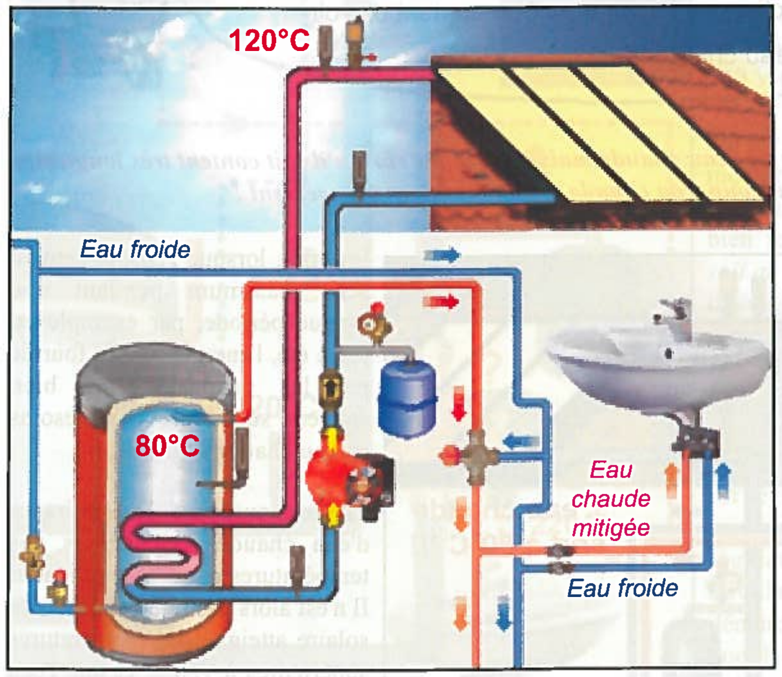
D'un autre côté, les risques d'ébouillantage provoqués par l'eau chaude sanitaire ne sont pas à négliger : c'est la cause de brûlures graves la plus fréquente chez les jeunes enfants (température de l'eau chaude trop élevée, erreur de robinet, disparition de l'eau froide, diminution brutale de la pression de l'eau froide, etc.).

Il est important de savoir qu'avec de l'eau à 52°C, il faut entre 1 et 2 mn pour s'ébouillanter. A 57°C, il ne faut que 10 secondes et à 60°C, l'eau provoque des brûlures très graves en moins de 3 secondes.

Pour prendre en compte ce risque, l'installation d'un mitigeur thermostatique réglé au maximum à 55°C est indispensable.

Le mitigeur est une vanne trois voies automatique avec une entrée pour l'eau chaude, une entrée pour l'eau froide et une sortie pour l'eau mitigée, dont on peut régler la température.

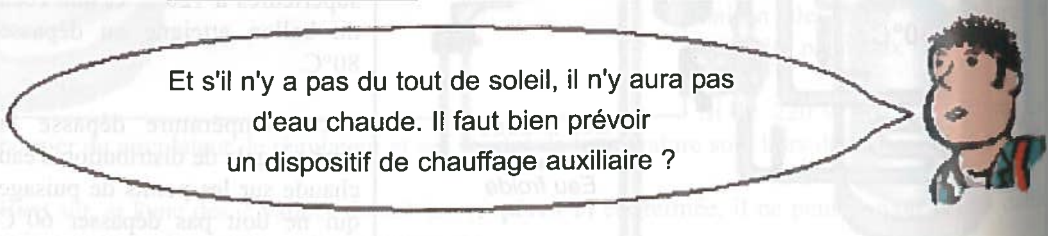




Notez toutefois que certains mitigeurs ne sont pas réglables et que la cartouche thermostatique interne est alors choisie selon l'application.

A NOTER : Certains mitigeurs possèdent des fonctions sophistiquées.

Par exemple, coupure automatique de l'arrivée d'eau chaude en cas d'interruption de l'arrivée d'eau froide ou encore coupure automatique de l'arrivée d'eau froide en cas d'absence d'eau chaude.

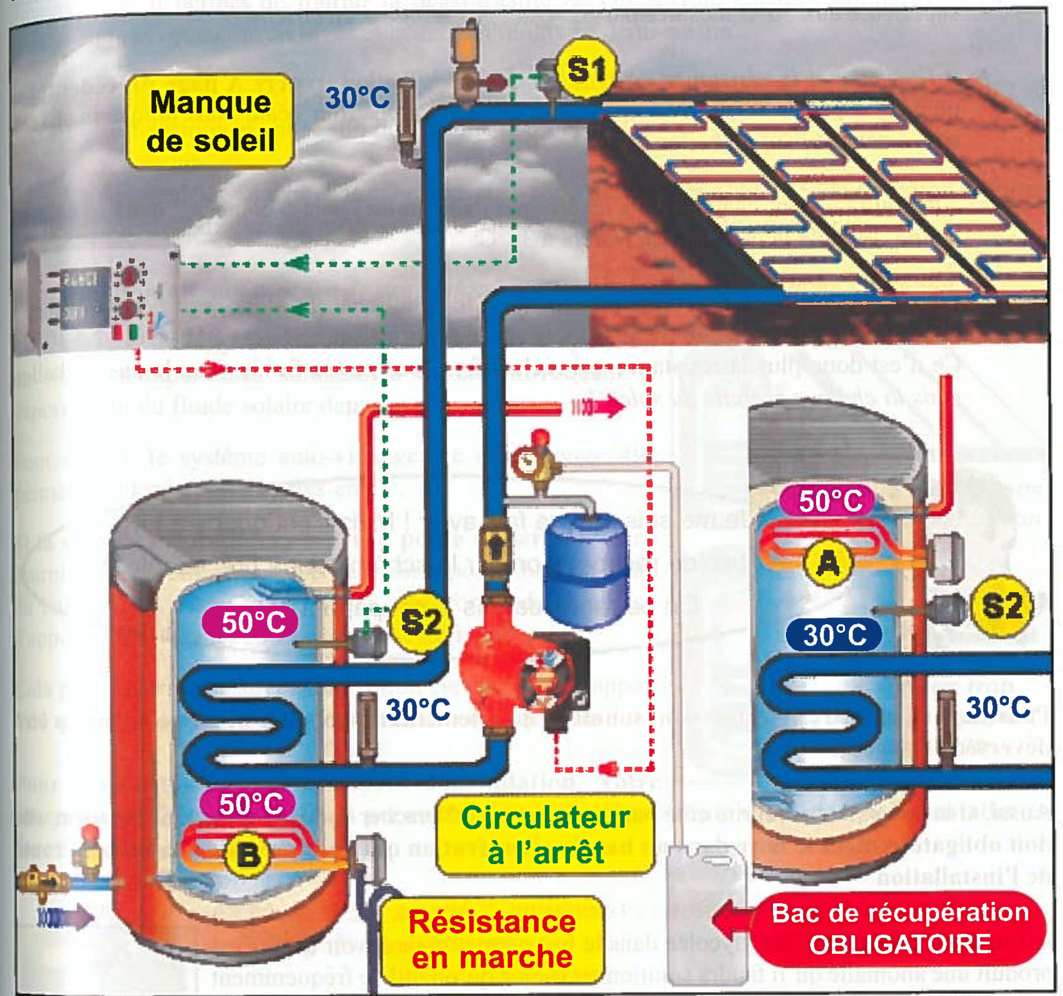


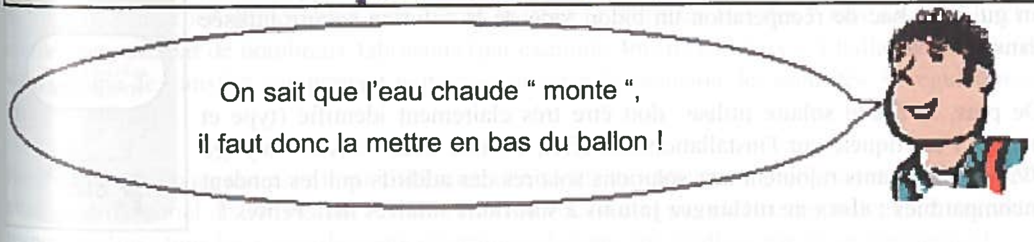
Êtes-vous d'accord avec Alexis ?

Alexis a parfaitement raison. Si la production d'eau chaude sanitaire est assurée uniquement par le ballon solaire, il est indispensable de prévoir un appoint pour chauffer l'eau lorsque l'ensoleillement sera insuffisant. Cet appoint est souvent une résistance électrique mais il peut également être assuré par l'intermédiaire d'une chaudière existante (quel que soit son combustible, fuel, gaz, bois, etc.) en rajoutant un échangeur supplémentaire dans le ballon.

Cependant, il faut être particulièrement vigilant : l'emplacement de cet appoint doit être déterminé afin de ne pas nuire au bon fonctionnement du circuit solaire.

Prenons l'exemple d'un appoint par une résistance électrique. A quel endroit la placeriez-vous ? Plutôt vers le bas du ballon ou plutôt vers le haut du ballon ?





En vous aidant du schéma ci-dessus, êtes-vous d'accord avec Alexis ?

▶ *Si la résistance est placée en bas du ballon* **(repère B page précédente)** et qu'il n'y a pas de soleil, c'est elle qui va chauffer l'eau qui se trouve en bas du ballon.

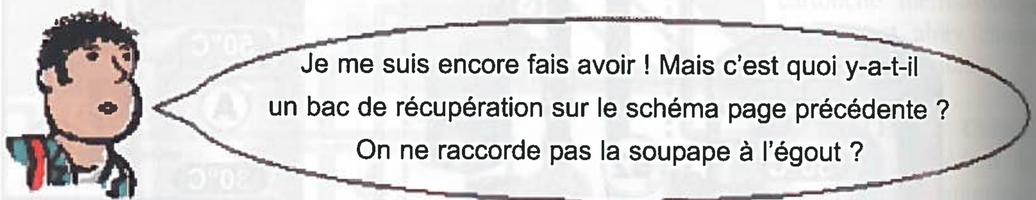
Cette eau réchauffée par la résistance (par exemple à 50°C) va monter lentement dans le haut du ballon. Au bout d'un certain temps, s'il n'y a pas de puisage d'ECS, toute l'eau du ballon sera presque intégralement à 50°C.

Plus tard, si le soleil revient et réchauffe l'eau glycolée des panneaux (par exemple à 50°C) le régulateur ne mettra pas le circulateur en service (puisque les sondes **S1** et **S2** seront à la même température) alors qu'il y aurait la possibilité de réchauffer de l'eau gratuitement. Le circulateur ne pourra démarrer que si la sonde **S1** mesure une température franchement supérieure aux 50°C mesurés par **S2**. *Quel gaspillage d'électricité !*

▶ *A l'inverse, si la résistance est placée en haut du ballon* **(repère A page précédente)** et qu'il n'y a pas de soleil, c'est également elle qui va chauffer l'eau, mais uniquement l'eau située dans le haut du ballon.

Attendu que l'eau chaude (plus légère que l'eau froide) sera " coincée " dans le haut du ballon, l'eau de la partie basse restera à 30°C.

Pour comparer avec l'exemple précédent, si le soleil chauffe alors l'eau des panneaux à 50°C, le régulateur démarrera aussitôt le circulateur (puisque **S1** sera à 50°C et **S2** à 30°C). Ce n'est donc plus la résistance qui réchauffera l'eau restée froide dans le bas du ballon *mais la chaleur gratuite du soleil !*



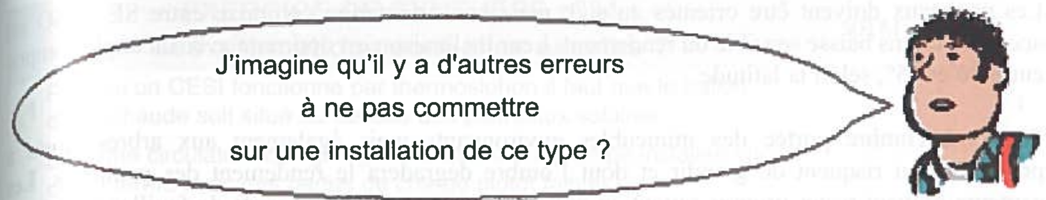
Pour rappel, les eaux glycolées sont soumises à réglementation et elles ne doivent jamais être déversées à l'égout.

Aussi, si la soupape de sécurité côté panneaux venait à " cracher ", quelle qu'en soit la raison, elle **doit obligatoirement le faire dans un bac de récupération qui doit être vide à la mise en route de l'installation.**



Ainsi, toute présence d'eau glycolée dans le bac permettra de savoir qu'il s'est produit une anomalie qu'il faudra solutionner (notez qu'on utilise fréquemment en guise de bac de récupération un bidon vide de la solution solaire utilisée dans le circuit).

De plus, le fluide solaire utilisé doit être très clairement identifié (type et marque) et étiqueté sur l'installation. En effet, comme nous l'avons vu *page 495*, les fabricants rajoutent aux solutions solaires des additifs qui les rendent incompatibles : **alors ne mélangez jamais 2 solutions solaires différentes !**



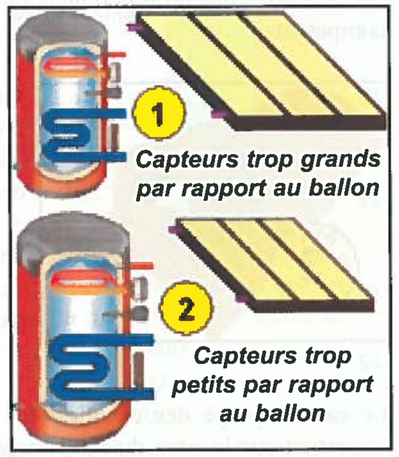
En effet, certaines précautions doivent être prises afin d'éviter les ennuis.

Si un CESI (**C**hauffe-**E**au **S**olaire **I**ndividuel) tel que le nôtre (avec appoint électrique) est bien dimensionné, il permet de fournir la quasi-totalité de l'ECS (**E**au **C**haude **S**anitaire) en été, la résistance intervenant qu'en hiver et beaucoup moins en demi-saison.

On admet généralement qu'un CESI permet de fournir de 40 à 80% des besoins annuels en ECS, selon son dimensionnement et son lieu d'implantation.

En ordre de grandeur, en admettant une consommation journalière d'eau chaude d'environ 50 litres par occupant, 1m² de capteur est nécessaire par personne, selon le lieu d'installation.

Attention, ce n'est qu'un ordre de grandeur. En effet, par rapport au volume du ballon :



Si la surface des capteurs est trop importante (repère 1), on risque d'importantes surchauffes en été provoquant la vaporisation du fluide solaire dans les panneaux.

Pour rappel, le système auto-vidangeable étudié *page 496* permet d'éviter les surchauffes en été.

Si la surface des capteurs est trop petite (repère 2), ils ne fourniront pas une puissance suffisante pour chauffer l'eau du ballon. La résistance (ou toute autre forme de chauffage d'appoint) sera beaucoup trop souvent sollicitée.

Cela provoquera une surconsommation électrique par rapport à ce qui était prévu : le client en tirera les conséquences !

Pour dimensionner correctement l'installation, votre fournisseur dispose de logiciels permettant une sélection optimum du matériel à installer en fonction des besoins.

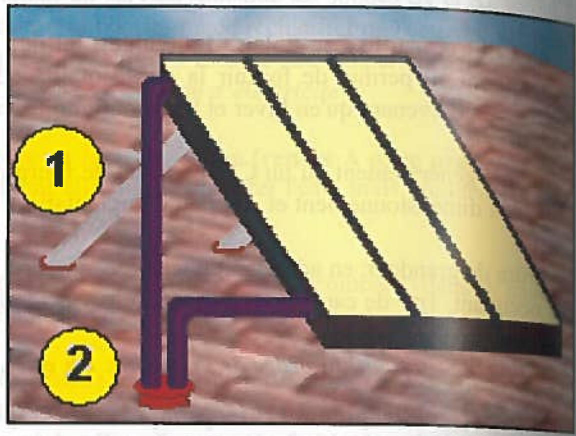
Si vous travaillez " au pif ", vous-vous exposez sans aucun doute à une multitude d'ennuis.

Si vous êtes inexpérimenté, il est sans doute préférable d'utiliser l'un des " kits solaire " prêt à monter proposé par de nombreux fabricants (par exemple 4m² de capteurs + 1 ballon de 300 litres + un groupe de transfert comprenant la pompe, un vase d'expansion, les sécurités, la régulation et les accessoires).

Rappelez-vous qu'un mitigeur thermostatique, une vanne de vidange au point bas et un disjoncteur avec un différentiel de 30mA sont obligatoires (Si vous n'êtes pas électricien, n'engagez pas votre responsabilité : tous les raccordements électriques doivent être réalisés par un professionnel).

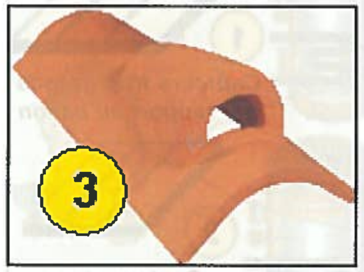
Les panneaux doivent être orientés au sud, mais une orientation comprise entre SE et SO est acceptable sans baisse sensible du rendement. Leur inclinaison est optimum avec un angle compris entre 30 et 45°, selon la latitude.

Pensez à l'ombre portée des immeubles environnants mais également aux arbres situés à proximité qui risquent de grandir et dont l'ombre dégradera le rendement des panneaux. Les capteurs doivent rester propres (attention aux capteurs à moitié recouverts de feuilles mortes ou souillés par une accumulation de poussières ou par des déjections d'oiseaux).



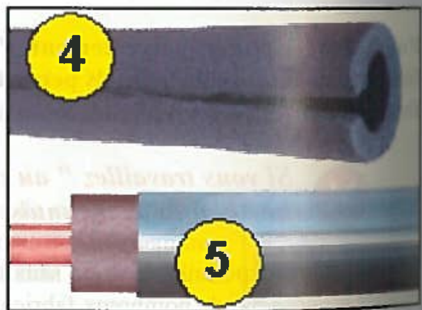
L'utilisation d'un support " bidouillé " pour donner une bonne inclinaison aux panneaux (**repère 1**) permet sûrement d'améliorer leur rendement mais, outre l'aspect esthétique discutable, ce mode de fixation présente l'inconvénient de rendre les panneaux très fragiles au vent : vous aurez bonne mine si les panneaux se décrochent !

En fait, le montage des panneaux sur le toit n'est pas une affaire de bricoleur et doit être réservé à des professionnels formés et compétents.



La traversée des tuiles par les tuyauteries est souvent l'objet de problèmes d'infiltrations. Une étanchéité " bidouillée " au travers d'une tuile (**repère 2**) avec du mastic silicone vieillit très mal et occasionne souvent des infiltrations.

Utilisez les accessoires spécialisés existants pour les traversées de toitures, par exemple une tuile chatière (**repère 3**) et surtout pas celles de la ventilation).



Le calorifugeage des canalisations extérieures est très important sur le plan du rendement du fait des faibles températures extérieures et du moindre ensoleillement en hiver. Mais attention, le calorifuge utilisé doit être certifié résistant aux rayons UV : de l'isolant ordinaire (**repère 4**) exposé au soleil vieillit très mal.

De plus, les oiseaux raffolent de certains isolants bien pratiques pour confectionner leurs nids. La meilleure solution, bien qu'un peu plus onéreuse, consiste à recouvrir l'isolant de coques en aluminium (**repère 5**) qui protègent également des oiseaux et des rongeurs.

A l'intérieur des locaux, s'il est sympathique de peindre les tuyauteries de départ en rouge et celles de retour en bleu, c'est complètement inutile : toutes les tuyauteries doivent être isolées. L'absence d'isolant augmente les pertes de chaleur et diminue le rendement de l'installation.

	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°34 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX
1	Pour qu'un CESI fonctionne par thermosiphon il faut que le ballon d'eau chaude soit situé au-dessus des panneaux solaires		
2	Le terme circulateur désigne généralement une pompe installée sur un circuit fermé avec des pertes de charge plutôt faibles		
3	Un clapet anti-retour est indispensable au refoulement du circulateur		
4	Sur notre CESI, il est préférable que le circulateur aspire dans le serpentin et refoule dans les panneaux solaires		
5	Si la cote ente le vase d'expansion et le haut de l'installation est de 6m, le vase doit être prégonflé au minimum à 0,6 bar		
6	Que le vase d'expansion soit trop gonflé ou pas assez gonflé le résultat est le même : risques de déclenchement de la soupape de sécurité		
7	Si on mesure 2 bar au refoulement d'une pompe et 2,5 bar à son aspiration, la HMT de cette pompe est de 0,5 bar		
8	Le meilleur emplacement pour la soupape de sécurité est de l'installer au refoulement de la pompe après le clapet anti-retour		
9	Pompe à l'arrêt, le mano d'aspiration indique 1,5 bar et le mano de refoulement 1,5 bar. Dès qu'on met la pompe en marche, le mano d'aspiration chute à 0,5 bar et celui de refoulement reste à 1,5 bar. On en conclu que le vase d'expansion est placé à l'aspiration de la pompe		
10	Si l'eau du ballon est à 30°C le circulateur s'enclenchera quand l'eau dans les panneaux sera à environ 40°C		
11	S'il y a une résistance électrique servant d'appoint dans le ballon d'ECS il est préférable qu'elle soit installée le plus bas possible dans le ballon, dans la zone où l'eau est la plus froide		

CORRIGÉ DE L'EXERCICE

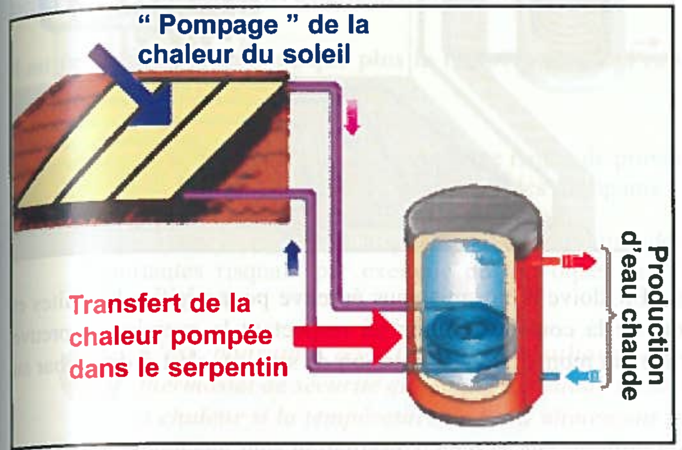
VRAI FAUX

1 : Vrai, sinon l'eau chaude resterait dans les panneaux et l'eau du ballon ne pourrait pas être chauffée. - 2 : Vrai, et le terme pompe est généralement utilisé sur des modèles à garniture mécanique ou à presse-étoupe utilisés sur des circuits ouverts ou présentant des pertes de charge plutôt importantes. - 3 : Vrai, ce clapet permet, principalement la nuit, d'empêcher l'eau du ballon de se refroidir dans les panneaux par effet thermosiphon. - 4 : Vrai, car c'est entre la sortie du serpentin et l'entrée des panneaux que l'eau glycolée est la moins chaude. - 5 : Faux, il faut se réserver une marge de sécurité minimale de 0,5 bar: Dans notre cas, le prégonflage minimum doit être de 1,1 bar: Notez que la tendance est de surdimensionner les vases et de se réserver une marge de sécurité d'au moins 1 bar. - 6: Vrai, c'est pourquoi il est essentiel de contrôler que le gonflage du vase est conforme avant de l'installer. - 7 : Faux, la pression à l'aspiration de la pompe ne peut pas être supérieure à sa pression de refoulement. - 8 : Vrai, c'est l'emplacement idéal et aucune vanne manuelle ne doit être installée entre le vase et les panneaux solaires. - 9 : Faux, le vase est au refoulement de la pompe. C'est lui qui maintient la pression constante tant que la température ne varie pas. - 10 : Vrai, et il s'arrêtera quand l'eau des panneaux sera à environ 34°C. - 11 : Faux, elle doit au contraire être placée dans la partie supérieure du ballon afin qu'un éventuel réchauffement de l'eau des panneaux permette au régulateur d'enclencher le circulateur afin de chauffe l'eau froide restée en partie basse du ballon.

NOTES PERSONNELLES

LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE PAR UNE POMPE A CHALEUR AÉROTHERMIQUE

Maintenant que nous avons vu comment amener de l'eau dans un château d'eau, comment distribuer cette eau froide aux différents utilisateurs, comment chauffer l'eau avec un ballon électrique, avec une chaudière murale ou avec des panneaux solaires, nous allons nous intéresser au chauffage de l'eau par une Pompe à Chaleur (PAC) de type aérothermique, c'est-à-dire conçue pour transférer de la chaleur " pompée " à l'air extérieur dans un circuit hydraulique.

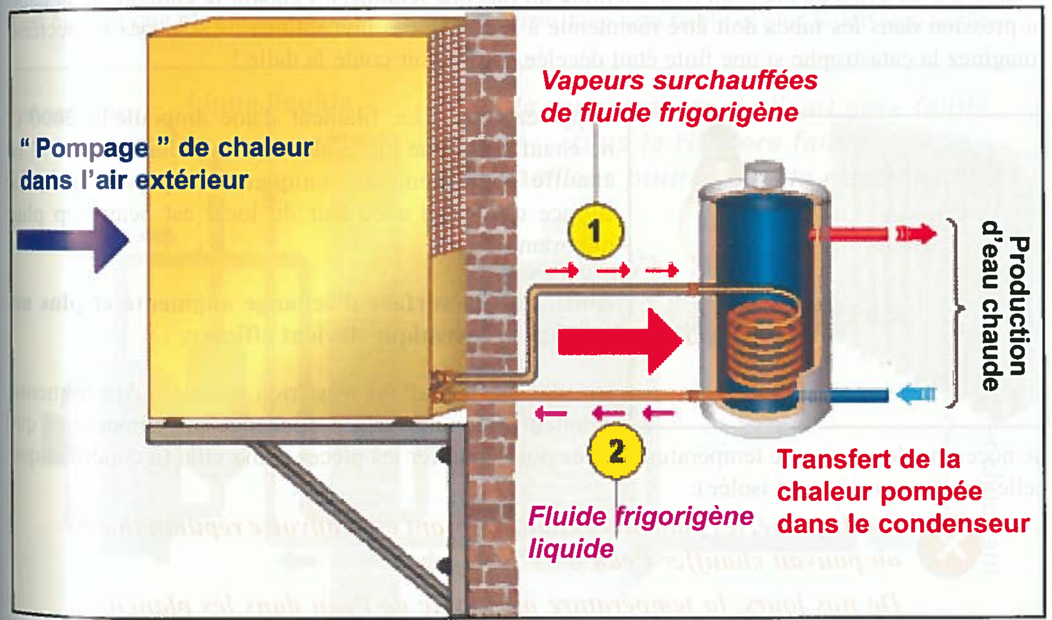


Sur un circuit solaire, c'est la chaleur " pompée " au soleil qui est utilisée pour chauffer de l'eau.

Les splits réversibles que nous avons étudié jusqu'à présent possédaient tous un condenseur à air (*au besoin, revoir des pages 347 à 359 et 357 à 410*).

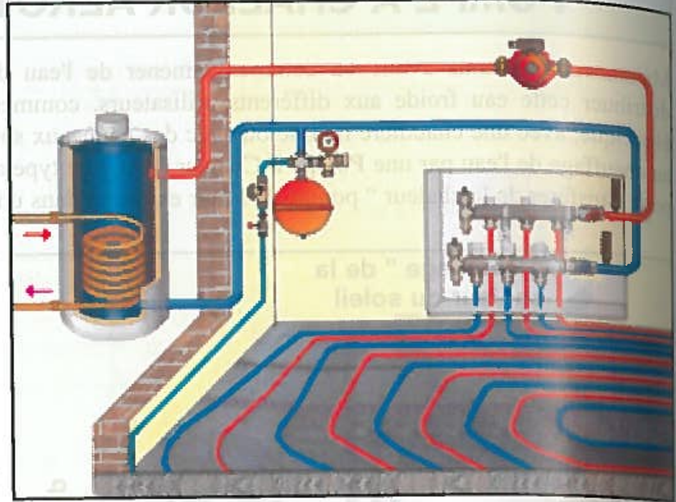
Sur la PAC Aérothermique ci-dessous, le condenseur est constitué d'un serpentin immergé dans un ballon rempli d'eau.

C'est donc la chaleur " pompée " à l'air extérieur qui est utilisée pour chauffer cette l'eau.



En comparant les 2 schémas, on constate que le condenseur de la PAC se comporte exactement comme le serpentin situé dans le ballon solaire. Bien sûr, les piquages hydrauliques sur le ballon se font de la même manière (eau chaude en haut et eau froide en bas).

Pour commencer, nous allons utiliser cette PAC pour chauffer notre villa par l'intermédiaire d'un plancher chauffant constitué de tubes noyés dans la dalle en béton.

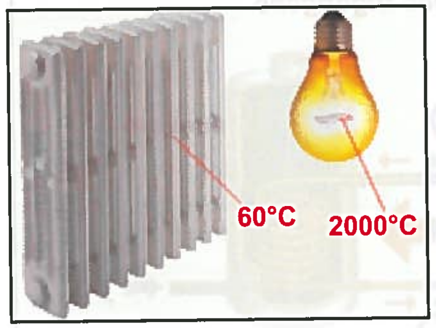


Les tubes noyés dans la dalle sont généralement en PER (**P**oly**É**thylène **R**éticulé), qui est de plus en plus utilisé dans les installations de plomberie.

Il convient pour véhiculer l'eau chaude ou froide, mais aussi pour les circuits de chauffage ou de rafraîchissement. Ce matériau souple et rapide à mettre en œuvre est incorrodable et peu sensible au calcaire. En revanche, il est sensible à la dilatation thermique : on ne doit donc pas le fixer au moyen de colliers serrés.

Avant de couler la dalle, les tubes PER doivent être mis sous épreuve pour vérifier les fuites et ils doivent rester sous pression lors de la coulée du béton en respectant la pression d'épreuve recommandée par le fabricant du tube (au moins 2 fois la pression de service, c'est-à-dire 6 bar au minimum).

Attention : les soupapes de sécurité utilisées sur ce type d'installation sont généralement tarées à 3 bar. Aussi, avant de monter en pression, la soupape de sécurité doit être remplacée par un bouchon avec prise de pression (par exemple un raccord schrader). Pendant le coulage de la dalle la pression dans les tubes doit être maintenue à 3 bar. Si ces précautions ne sont pas respectées, imaginez la catastrophe si une fuite était décelée après avoir coulé la dalle !



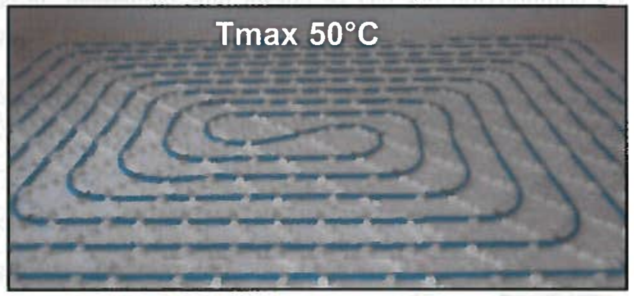
Rappelez-vous : Le filament d'une ampoule à 2000°C ne chauffe pas une pièce alors qu'un radiateur à 60°C la chauffe parfaitement, uniquement parce que sa surface d'échange avec l'air du local est beaucoup plus importante.

Ainsi, plus la surface d'échange augmente et plus un échangeur thermique devient efficace.

Un plancher chauffant n'est rien d'autre qu'un immense radiateur avec une surface d'échange très importante, qui ne nécessite donc pas une température élevée pour chauffer les pièces d'une villa (à condition que celle-ci soit correctement isolée).

Par le passé, les planchers chauffants ont eu mauvaise réputation car on pouvait chauffer l'eau à 65°C.

De nos jours, la température maximale de l'eau dans les planchers est fixée par la réglementation à 50°C et la température maximale de surface du sol est fixée à 28°C. Sur une installation bien calculée, la température de l'eau dépasse rarement 40°C, ce qui solutionne les problèmes rencontrés jadis.



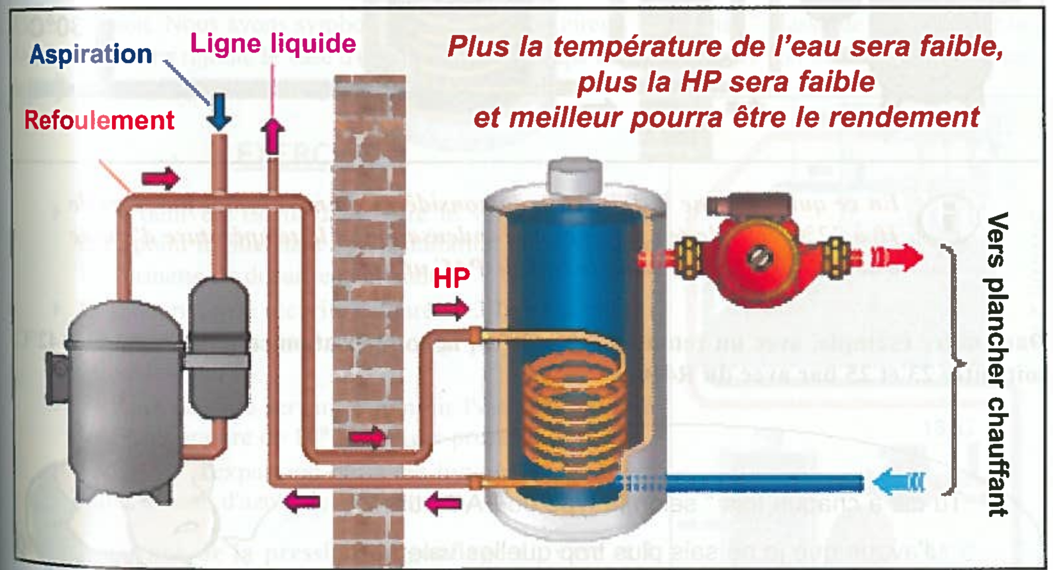
En effet, une température de 50°C est déjà très élevée. Pour une maison correctement isolée dont le plancher chauffant a été réalisé dans les règles de l'art, avec un pas entre les tubes ne dépassant pas 20 cm, une température de l'eau de 40°C dans les tubes et une température de surface du sol de 25°C donnent généralement entière satisfaction aux occupants des locaux même par des températures extérieures inférieure à -10°C.

Il est facile de comprendre que plus la température de l'eau dans les tubes sera importante plus la température du sol sera élevée.

- Une température du sol trop importante risque de provoquer des problèmes parfois graves de circulation sanguine dans les jambes des occupants.
- De plus, une température trop élevée peut entraîner des dilatations du sol beaucoup trop importantes risquant par exemple de provoquer des fissures et même le soulèvement des carrelages.

C'est pourquoi les circuits hydrauliques doivent être équipés d'un thermostat de sécurité qui coupe la chaudière, la vanne 3 voies ou la pompe à chaleur si la température de l'eau alimentant le plancher atteint 50°C.

De plus, sur le plan frigorifique, nous avons vu avec les climatiseurs que plus la température de l'air à l'entrée du condenseur est faible et plus la HP est faible (*au besoin, voir page 147*). Par analogie, Il est évident que plus la température de l'eau de chauffage sera faible et plus la HP sera faible.



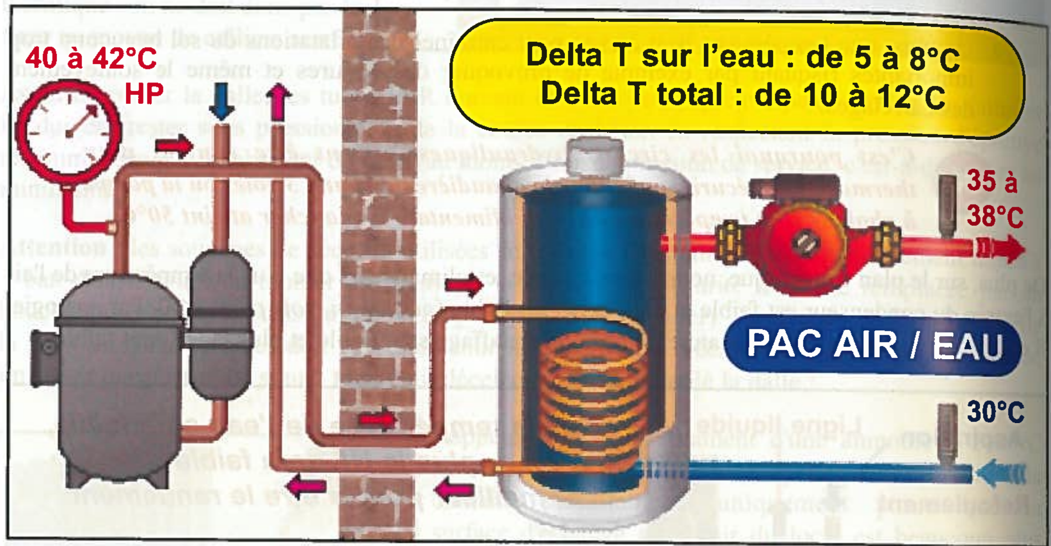
Or, plus la HP est faible, moins le compresseur doit fournir d'énergie pour comprimer en HP les gaz qu'il aspire en BP...

La compression des gaz se faisant plus facilement, le compresseur consomme moins d'énergie électrique, ce qui améliore donc très sensiblement le rendement de la machine.

Il est donc très intéressant d'utiliser de l'eau moins chaude, ce qui implique que le plancher soit réalisé dans les règles de l'art et que la maison soit bien isolée thermiquement.

Et sinon, sur un condenseur à eau comme celui-ci, quels sont les Delta T qu'on obtient généralement ?

Le Delta T sur l'eau est habituellement sur ce type de matériel d'environ 5 à 6°C aux conditions nominales afin de conserver des performances satisfaisantes, mais on peut considérer un Delta T de 5 à 8°C comme étant tout à fait correct, selon le type de PAC utilisé.



En ce qui concerne le DT Total, on considère comme normal un écart de 10 à 12°C entre la température de condensation et la température d'entrée d'eau dans le ballon, selon le type de PAC utilisé.

Dans notre exemple, avec un retour d'eau à 30°C, la condensation se ferait vers 40 à 42°C, soit entre 23 et 25 bar avec du R410A.

Tu dis à chaque fois " selon le type de PAC utilisé ". J'avoue que je ne sais plus trop quelles valeurs il faut prendre en compte !

Il y a aujourd'hui plus de 100 marques de PAC disponibles, rien que sur le marché Français ! Les fabricants se livrent une " guerre " des performances et celles-ci s'améliorent de plus en plus. C'est pourquoi un DT ou un COP valable il y a 2 ans ne l'est plus vraiment aujourd'hui. Alors, entre une machine ancienne et une nouvelle, entre un modèle classique et un modèle Inverter, entre un modèle de base et un modèle haut de gamme, je ne peux te donner que des ordres de grandeur.

En cas de doute, la seule référence valable est la doc technique du fabricant !

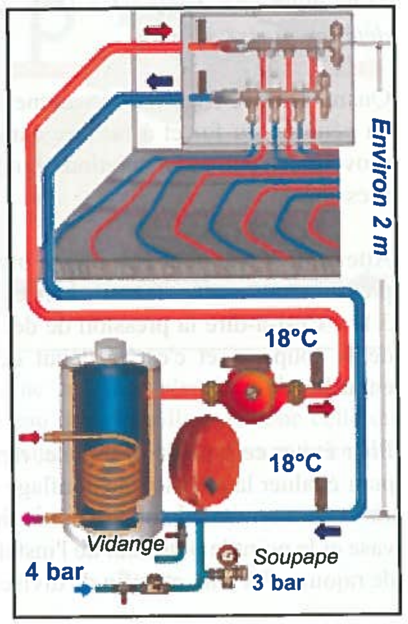
En effet, avec un compresseur Inverter (dont le fonctionnement a été étudié *page 389*) la puissance rejetée au condenseur (qui permet de chauffer l'eau) dépend de la vitesse de rotation du compresseur. **Le DT sur l'eau pourra donc être par exemple de 7°C à pleine puissance mais seulement de 2°C à vitesse réduite, ce qui est dans ce cas tout à fait normal.** Cela ne simplifie pas les choses en dépannage, mais au fur et à mesure que vous prendrez de l'expérience, vous verrez que finalement ce n'est pas si compliqué !

Il ne faudrait pas oublier le vase d'expansion, la soupape de sécurité, la vanne de vidange et le circuit de remplissage !

Alexis a raison. Nous avons symbolisé ci-dessous un circuit " plancher " classique alimenté par une PAC. Nous avons rajouté le vase d'expansion, la soupape de sécurité avec son manomètre, une vanne de vidange et un circuit de remplissage en eau de ville.

EXERCICE 1

- Si le dénivelé est de **2 m** entre le vase d'expansion et le point le plus haut de l'installation (au niveau de la clarinette de départ eau chaude).
- Si la soupape de sécurité est tarée à **3 bar** (ce qui est généralement le cas sur ce type d'installation de faible hauteur).
- Si l'eau de ville servant à remplir l'installation est à une température de **18°C** et à une pression de **4 bar**.
- Si le vase d'expansion qui a été livré est prégonflé à une pression d'azote de **1,5 bar**.



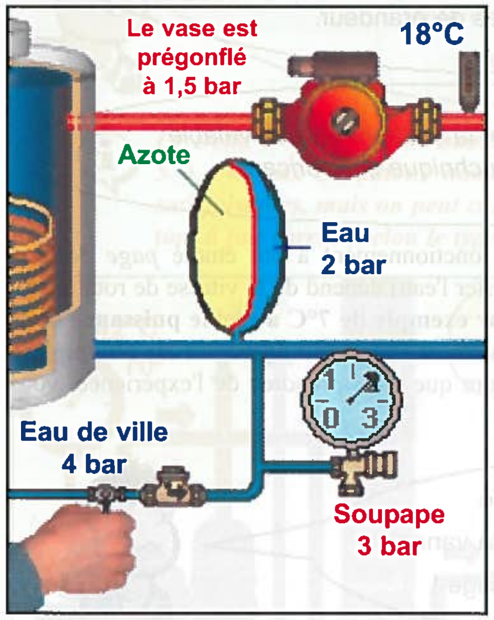
Que pensez-vous de la pression de gonflage du vase et à quelle pression allez-vous remplir le circuit avec l'eau de ville avant de démarrer la PAC ?

Ne tournez pas la page trop vite, réfléchissez un peu !

CORRECTION DE L'EXERCICE 1

Nous avons vu *page 516* que lorsqu'une installation quelconque est en service, la pression en chaque point du circuit ne doit jamais être inférieure à 0,5 bar.

Pour être certain que la pression au point le plus haut du circuit (c'est-à-dire au niveau de la clarinette de départ) ne soit pas inférieure à 0,5 bar, la pression au niveau du vase d'expansion situé 2 m plus bas ne doit donc pas être inférieure à 0,7 bar.



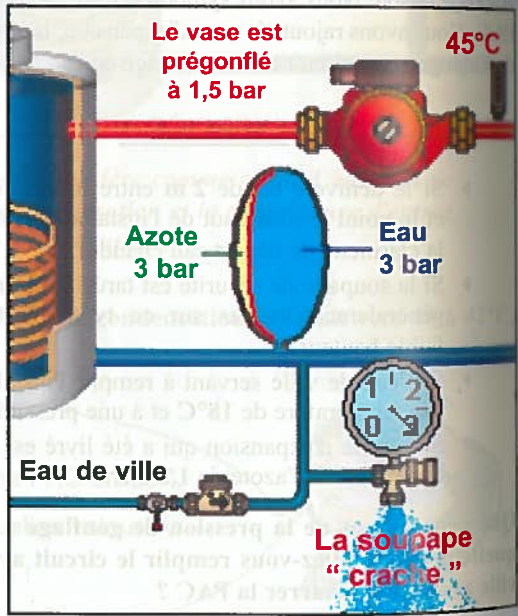
Si on laisse le vase gonflé à 1,5 bar, nous avons vu *page 514* que la pression de remplissage avec de l'eau à 18°C doit être légèrement supérieure à cette pression afin de tenir compte d'une éventuelle diminution de la température de l'eau en dessous de 18°C, ce qui est tout à fait possible, par exemple en cas de panne de la PAC.

En effet, s'il n'y a pas une réserve d'eau à 18°C dans le vase au moment du remplissage, nous avons vu que de l'air risquait de pénétrer par le(s) purgeur(s) automatique(s) si la température de l'eau venait à diminuer en dessous de 18°C.

Pour tenir compte de ce problème, admettons que l'on remplisse l'installation jusqu'à 2 bar, ce qui ne pose pas de problème, l'eau de ville étant à 4 bar.

A ce moment, on aura la certitude qu'il y a bien un peu d'eau qui a pénétré dans le vase. De plus, la pression en haut du circuit (2 m plus haut) sera égale à 1,8 bar, ce qui semble tout à fait correct.

Mais alors que l'eau est à 18°C, le circuit est déjà pressurisé à 2 bar.



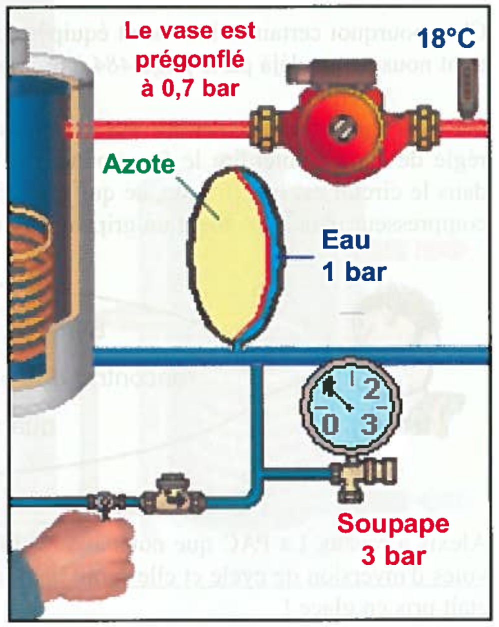
Quand l'eau va chauffer, le volume de dilatation va pénétrer au fur et à mesure dans le vase en provoquant une augmentation simultanée de la pression.

Atteint 45°C (et peut être même bien avant), la pression a de très fortes chances d'atteindre 3 bar, c'est-à-dire la pression de déclenchement de la soupape, et c'est le début de nombreux ennuis !

Pour éviter ce type de problème, rappelons que pour évaluer la pression de gonflage d'un vase il suffit de mesurer la hauteur géométrique entre le vase et le point le plus haut de l'installation, puis de rajouter 3 à 5 m, et enfin de diviser par 10 pour obtenir la pression de gonflage optimale en bar.

Dans notre exemple, les clarinettes du plancher chauffant se trouvent à 2 m au-dessus du vase. On obtient une pression de gonflage optimale du vase à (2 + 5) / 10 = environ 0,7 bar.

Avant de raccorder le vase sur le circuit, on doit donc le dégonfler jusqu'à 0,7 bar.

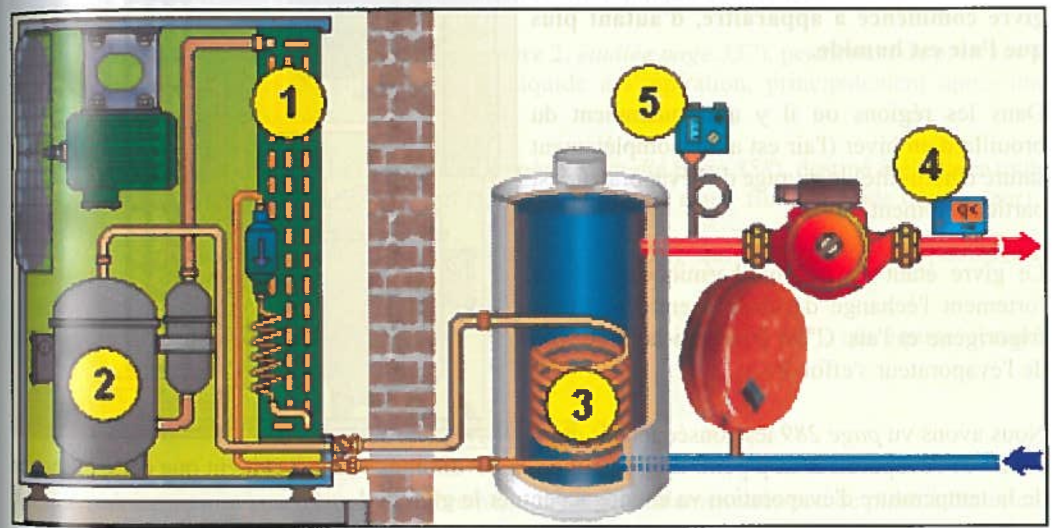


A ce moment, si la pression de remplissage de l'eau était également de 0,7 bar il n'y aurait pas une seule goutte d'eau qui pourrait pénétrer dans le vase et par la suite, si la température de l'eau venait à diminuer, il n'y aurait aucune réserve.

C'est pourquoi, avec les valeurs de cet exemple, il est préférable de régler la pression dans le circuit à environ 1 bar afin qu'une petite réserve d'eau puisse pénétrer dans le vase.

A ce moment, si le vase a été correctement sélectionné, la température de l'eau pourra même atteindre 50°C sans que la pression dans le circuit n'augmente jusqu'à 3 bar.

Avant de démarrer la PAC, rappelez-vous : l'évaporateur (**repère 1**) absorbe de la chaleur sur l'air extérieur. Cette énergie est pompée par le compresseur (**repère 2**) puis refoulée en HP et à haute température dans le condenseur (**repère 3**). C'est cette chaleur qui permet de chauffer l'eau.



Si le compresseur fonctionnait, mais que le circulateur ne tourne pas, la chaleur refoulée dans le condenseur ne pourrait plus être évacuée. La température de l'eau dans le ballon, et donc celle du fluide frigorigène augmenterait alors très rapidement ce qui provoquerait très vite une coupure en HP.

C'est pour cette raison qu'un asservissement électrique interdit le fonctionnement du compresseur si le circulateur est à l'arrêt...

Néanmoins, si le circulateur venait à se gripper, il n'y aurait plus du tout de débit d'eau et le compresseur pourrait malgré tout fonctionner malgré l'asservissement électrique.

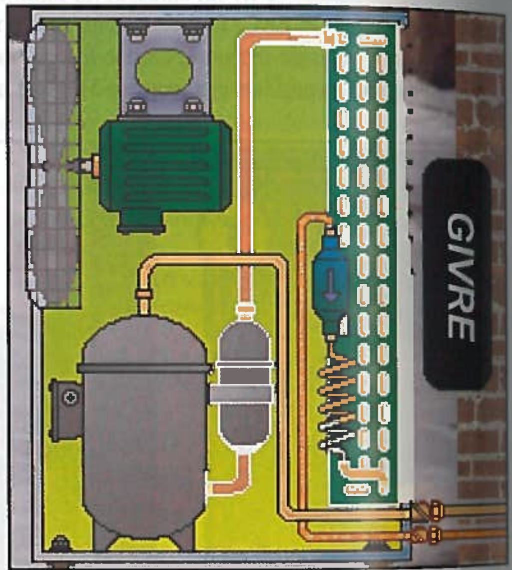
C'est pourquoi certaines PAC sont équipées d'un contrôleur de débit (**repère 4 page précédente**) dont nous avons déjà parlé *page 484* à propos des chaudières murales.

On peut également rencontrer sur certaines machines un pressostat manque d'eau (**repère 5**) réglé de sorte à interdire le fonctionnement de la PAC et du circulateur si la pression de l'eau dans le circuit est insuffisante, ce qui risquerait non seulement de provoquer une coupure HP du compresseur mais également un grippage du circulateur.



Alexis a raison. La PAC que nous avons utilisé jusqu'à présent n'est pas équipée d'une vanne 4 voies d'inversion de cycle et elle serait bien incapable de procéder à un dégivrage si l'évaporateur était pris en glace !

Or, plus la température extérieure diminue et plus la température d'évaporation diminue. Lorsque celle-ci devient inférieure à 0°C du givre commence à apparaître, d'autant plus que l'air est humide.



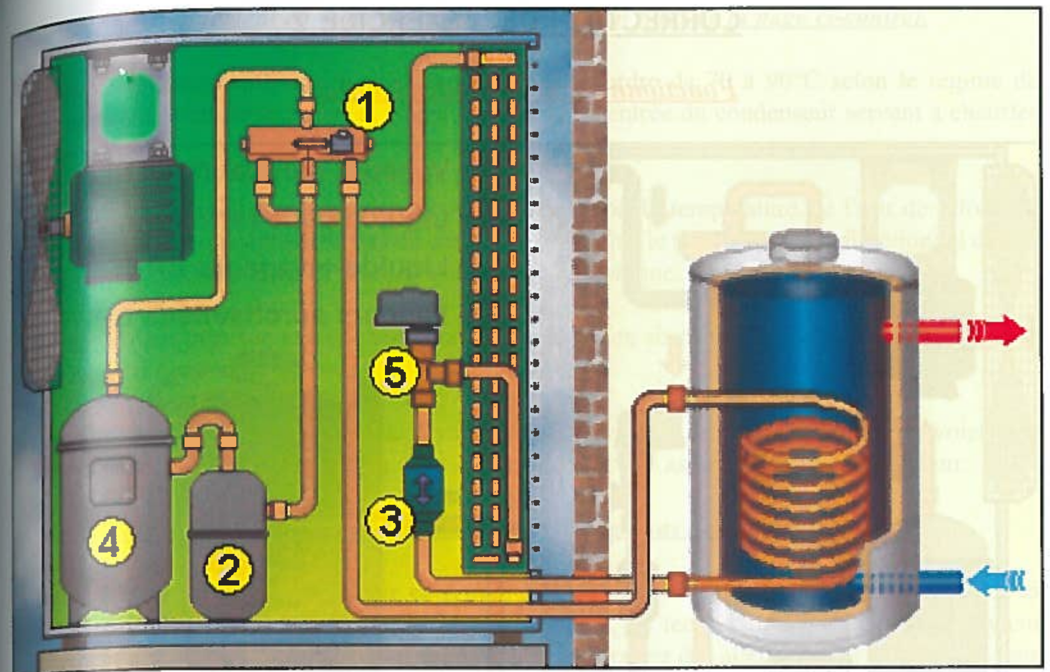
Dans les régions où il y a fréquemment du brouillard en hiver (l'air est alors complètement saturé d'humidité) le givrage de l'évaporateur est particulièrement rapide.

Le givre étant un isolant thermique, il réduit fortement l'échange de chaleur entre le fluide frigorigène et l'air. C'est pourquoi la puissance de l'évaporateur s'effondre.

Nous avons vu *page 289* les conséquences de la panne de l'évaporateur trop petit. En particulier, la BP diminue et il est évident que cette réduction de la température d'évaporation va encore accentuer le givrage !

Or, plus il fait froid dehors, plus la BP diminue, plus il y a de givre et moins l'évaporateur est capable de " pomper " de la chaleur sur l'air extérieur. Son COP (que nous avons évoqué *page 189*) diminue donc rapidement alors que les besoins en chaud sont très importants vu la faible température extérieure.

Il faut donc éliminer périodiquement ce givre afin d'éviter que l'évaporateur ne se transforme en un gigantesque glaçon...



Sur ce schéma modifié, vous devriez reconnaître :

- Une vanne 4 voies d'inversion de cycle (**repère 1**, *étudiée des pages 347 à 356*), permettant d'orienter le refoulement du compresseur soit vers le serpentin du ballon (en mode chauffage), soit vers la batterie extérieure (en mode dégivrage).
- Une bouteille anti coups de liquide (**repère 2**, *étudiée page 357*), permettant de protéger le compresseur d'un éventuel afflux de liquide à l'aspiration, principalement après une inversion de cycle.
- Un filtre déshydrateur bidirectionnel (**repère 3**, *étudié page 358*), destiné à éliminer toute présence d'humidité dans le circuit (rappelez-vous que eau + fluide = acide dévastateur).
- Un compresseur Scroll (**repère 4**, *étudié page 391*) qui présente de très nombreux avantages par rapport aux compresseurs à pistons.
- Un détendeur électronique (**repère 5**, *étudié des pages 395 à 401*), qui équipe certains modèles haut de gamme.

EXERCICE 2

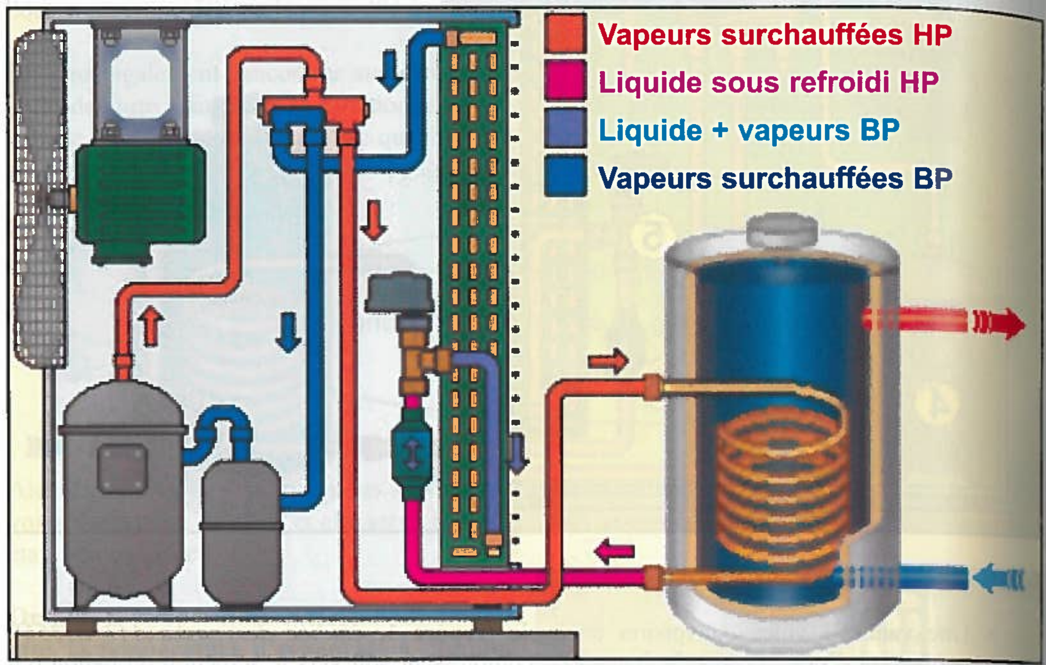
Afin de réduire au maximum leur encombrement, il y a généralement très peu de place à l'intérieur des PAC et suivre les tuyauteries du circuit frigorifique n'est pas toujours évident.

Alors, ne tournez pas la page trop vite, essayez d'abord de comprendre le fonctionnement en mode chauffage puis en mode dégivrage sur le schéma ci-dessus, beaucoup plus facile à suivre que la plupart des PAC actuelles.

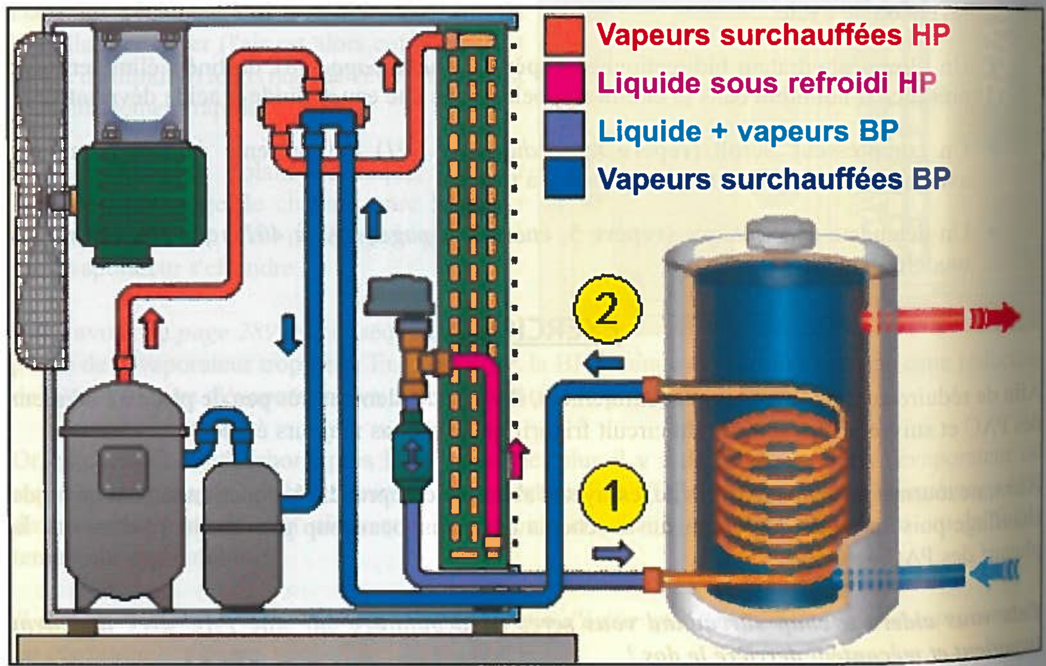
Cela vous aidera à coup sûr quand vous serez en dépannage sur une PAC avec un client impatient et mécontent derrière le dos !

CORRECTION DE L'EXERCICE 2

Fonctionnement en mode chauffage



Fonctionnement en mode dégivrage



Fonctionnement en mode chauffage (schéma en haut de la page ci-contre).

Les vapeurs HP surchauffées à haute température (de l'ordre de 70 à 90°C selon le régime de fonctionnement) sont dirigées par la vanne 4 voies vers l'entrée du condenseur servant à chauffer l'eau du ballon.

Le liquide sous refroidi (aux environs de 40 à 50°C selon la température de l'eau de retour du plancher chauffant) qui sort par le bas du condenseur traverse le déshydrateur bidirectionnel de bas en haut puis il est détendu en BP dans le détendeur électronique.

Ce liquide à basse pression et basse température s'évapore en absorbant la chaleur de l'air extérieur qui balaye l'évaporateur.

Les vapeurs surchauffées qui sortent de l'évaporateur sont ensuite dirigées par la vanne 4 voies vers la bouteille anti coups de liquide d'où elles sortent avant d'être aspirées par le compresseur.

Fonctionnement en mode dégivrage (schéma en bas de la page ci-contre).

Le Delta T total à l'évaporateur sur ce type de machine est voisin de 10°C. Aussi, lorsque la température extérieure descend en dessous de 7 à 8°C, la température d'évaporation devient franchement négative (sur le schéma du dessus). La température des ailettes passe alors en dessous de 0°C et il est normal que du givre commence à apparaître sur l'échangeur extérieur (au même titre qu'il y a du givre sur l'évaporateur de votre réfrigérateur).

Cependant, le givre étant un bon isolant, les performances de la PAC se dégradent au fur et à mesure du givrage : c'est pourquoi la PAC doit régulièrement passer en " mode dégivrage " lorsqu'il fait froid dehors. La vanne 4 voies inverse alors le cycle frigorifique, le ventilateur extérieur est arrêté et seuls le compresseur et la pompe restent en fonctionnement.

Pendant la durée du dégivrage (qui dure généralement moins de 2 mn sur les machines modernes), la PAC ne réchauffe plus du tout l'eau du ballon (au contraire, elle la refroidit).

Le tube en sortie du détendeur (**repère 1**) est alors à une température de l'ordre de 0 à 15°C (c'est la température d'évaporation) selon la température de l'eau dans le ballon. Le tube en sortie du serpentin (**repère 2**) est alors à une température de l'ordre de 10 à 20°C (c'est la température des vapeurs surchauffées en sortie évaporateur).

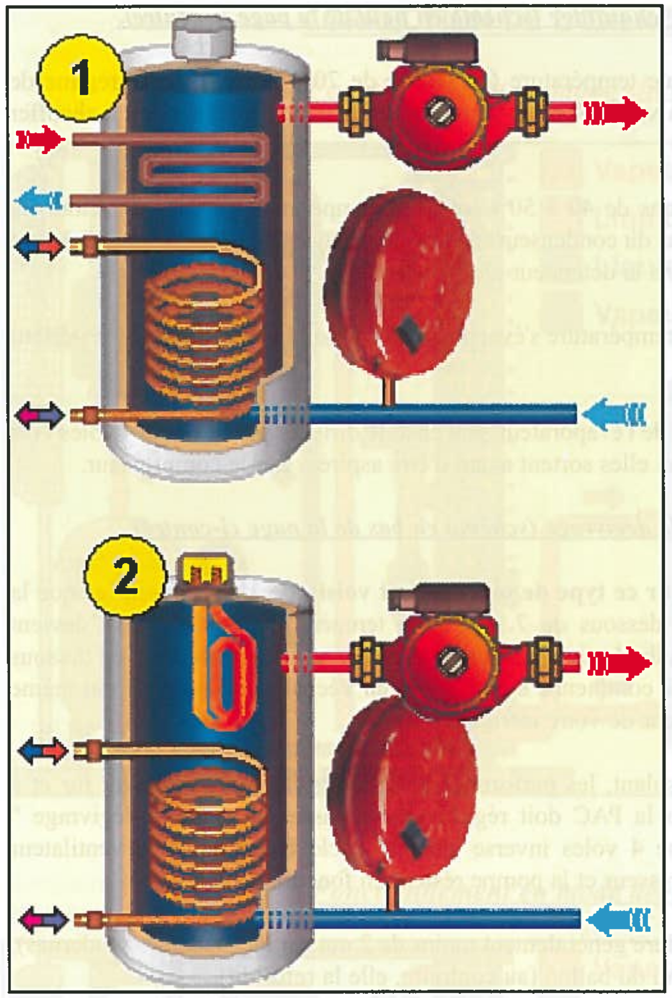
En effet, pour dégivrer la batterie extérieure la PAC doit lui envoyer un gros afflux de chaleur. Pour cela, elle pompe la chaleur nécessaire dans le ballon : c'est-à-dire qu'elle refroidit l'eau !

Nous sommes donc en présence d'un double paradoxe :

- Plus il fait froid dehors, plus on a besoin d'eau chaude pour chauffer la maison. Mais cette faible température extérieure provoque une diminution de la température d'évaporation, ce qui favorise l'accumulation de givre et réduit la puissance de chauffe de la PAC.

  En clair, plus il fait froid dehors et moins la PAC chauffe la maison !

- En outre, alors que la puissance de chauffe de la PAC est déjà réduite, elle doit en plus refroidir l'eau du ballon pour éliminer le givre !



C'est pourquoi un chauffage d'appoint est le plus souvent nécessaire pour les jours de grand froid ou en cas de panne de la PAC.

Comme c'est souvent le cas lors de la rénovation d'une installation de chauffage, cet appoint peut se faire par l'intermédiaire d'un second serpentin alimenté par de l'eau chaude provenant d'une chaudière existante (**repère 1**), quel que soit son combustible (fuel, gaz, etc.).

Dans ce cas, il faut prévoir le rajout de ce second échangeur au moment de la commande du kit hydraulique de la PAC.

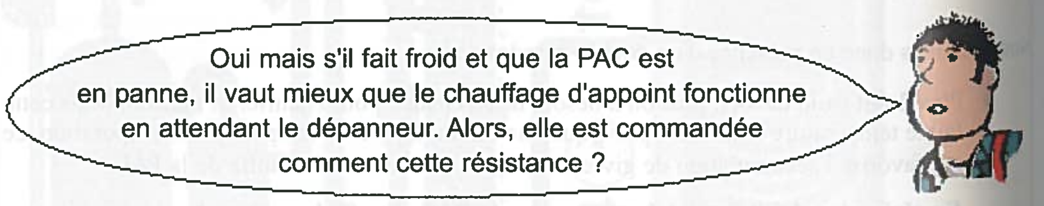
Néanmoins, l'une des solutions les plus utilisées dans les installations neuves (ou lorsque l'existant est complètement hors d'usage) est l'ajout d'une résistance électrique dans la partie supérieure du ballon (**repère 2**).

Ce n'est pas la solution la plus économique du point de vue des consommations électriques mais c'est la moins chère à l'installation !

A NOTER : la détermination de la puissance de cette résistance d'appoint est souvent délicate.

En effet, n'oublions pas que l'énergie électrique coûte cher et que l'objectif d'une PAC est de réduire la facture d'électricité (rappelez-vous qu'un COP de 4 signifie que pour 1 kW payé au fournisseur d'électricité on récupère environ 4 kW au condenseur !).

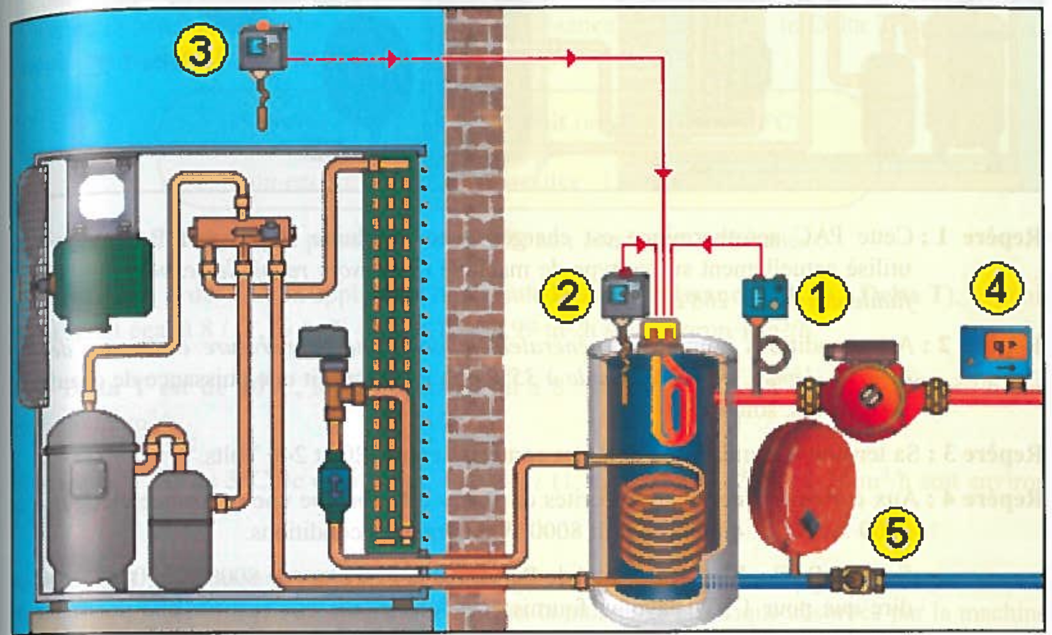
C'est pourquoi, le fonctionnement de la PAC doit rester prioritaire sur l'appoint.



Selon le matériel installé, il existe de nombreux asservissements ou sécurités susceptibles d'interdire le fonctionnement d'une résistance électrique d'appoint...

Par exemple, un pressostat manque d'eau (**repère 1**) peut interdire à la résistance (et bien sûr à la PAC) de fonctionner si la pression de l'eau est trop faible, ce qui signifie un manque d'eau dans le circuit ballon.

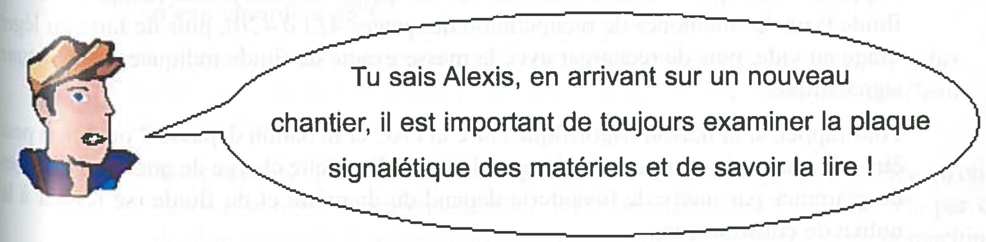
Un thermostat de sécurité haute température (**repère 2**) peut interdire à la résistance et à la PAC de fonctionner si la température de l'eau dans le ballon dépasse 50°C (rappelons-nous que c'est la limite maximum admissible sur un plancher chauffant et que la tendance actuelle est plutôt d'alimenter ces planchers avec de l'eau à 40°C maximum).

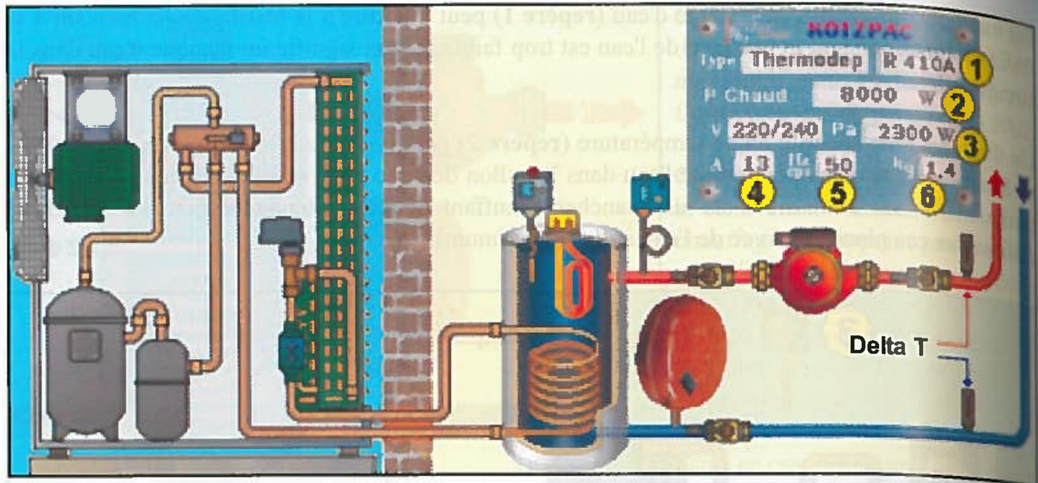


Un thermostat placé à l'extérieur (**repère 3**) peut parfois interdire à la résistance de fonctionner si la température est supérieure par exemple à 0°C, et ne l'autoriser qu'en dessous de cette valeur et uniquement si la puissance de la PAC n'est pas suffisante.

A NOTER : Nous avons déjà parlé *page 484* des contrôleurs de débit, également appelés flow-switch (**repère 4**). Ne confondons pas le rôle du flow-switch et celui du pressostat de sécurité manque d'eau.

En effet, si on ferme une vanne sur le circuit (par exemple la vanne **repère 5**), le débit s'interrompt et le flow-switch coupe immédiatement la PAC. Par contre, la pression de l'eau ne diminuant pas, le pressostat manque d'eau ne peut absolument pas réagir.





Repère 1 : Cette PAC aérothermique est chargée avec du fluide frigorigène R410A, le plus utilisé actuellement sur ce type de machine (*au besoin revoir les explications sur ce fluide des pages 268 à 270*)

Repère 2 : Aux conditions nominales (*généralement pour une température extérieure de 7°C avec un départ de l'eau chaude à 35°C*), la PAC fournit une puissance de chauffe de 8000 Watts, soit 8 kW.

Repère 3 : Sa tension d'alimentation doit être comprise entre 220 et 240 Volts.

Repère 4 : Aux conditions nominales décrites ci-dessus elle absorbe une puissance électrique de 2300 W. Notez qu'elle fournit 8000 W aux mêmes conditions.

Son **COP** (**C**oefficient **O**ptimal de **P**erformance) est alors de 8000 / 2300 = 3,48. C'est dire que pour 1 kW payé au fournisseur d'électricité, elle restitue une puissance de chauffe de 3,48 W.

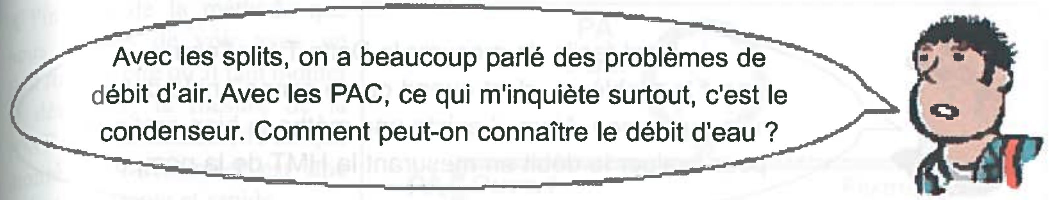
Repère 5 : Son courant d'alimentation doit avoir une fréquence de 50 Hertz, qui est la fréquence du courant en France et dans de nombreux pays. Pour informé, la fréquence du courant aux Etats-Unis est de 60 cps (cycles per second), soit 60 Hz. Une PAC prévue pour du 60 Hz alimentée en 50 Hz tournera donc 17% moins vite et fournira moins de puissance (au besoin, revoir le système Inverter permettant de faire varier la fréquence du courant *des pages 382 à 394*).

Repère 6 : Aux conditions nominales elle absorbe une intensité de 13A. Cette valeur est importante pour la sélection du câble d'alimentation et du disjoncteur.

Repère 7 : Sa charge en fluide R410A est de 1,4 kg. Cette information est primordiale si, à la suite d'une intervention, il est nécessaire de recharger la machine.

Rappelez-vous que la bonne méthode sur ces petits circuits est de récupérer tout le fluide (voir les méthodes de récupération *des pages 413 à 420*), puis de faire un léger tirage au vide, puis de recharger avec la masse exacte de fluide indiquée sur la plaque signalétique.

Pour rappel, si la liaison frigorifique entre la PAC et le ballon dépasse 3 ou 4 m il peut être nécessaire de rajouter une charge additionnelle. Cette charge de quelques dizaines de grammes par mètre de tuyauterie dépend du diamètre et du fluide (se référer à la notice du constructeur).



Pour connaître le débit d'eau qui doit circuler dans l'installation, l'idéal est de consulter la documentation du constructeur. Cependant, si on ne l'a pas sous la main (ce qui est généralement le cas en dépannage), il suffit de connaître la puissance de chauffe et le Delta T sur l'eau puis d'appliquer la formule suivante :

Puissance (kW) = **1,16 x Débit** (m^3/h) x **Delta T** (°C)

ou encore **Débit = Puissance / (1,16 x Delta T)**

Pour notre PAC de 8 kW de puissance de chauffe aux conditions nominales :

Avec un Delta T de 7°C, en appliquant la formule **Débit = Puissance / (1,16 x Delta T)**, le débit d'eau serait égal à 8 / (1,16 x 7) = 8 / 8,12 = 0,99 m^3/h soit environ 1 m^3/h.

Si le Delta T est de 10°C, le débit serait égal à 8 / (1,16 x 10) = 8 / 11,6 = 0,69 m^3/h soit environ 0,7 m^3/h.

Si le Delta T est de 5°C, le débit serait égal à 8 / (1,16 x 5) = 8 / 5,8 = 1,38 m^3/h soit environ 1,4 m^3/h.

A NOTER 1 : Attention à bien prendre en compte la puissance de chauffage fournie par la PAC (8000 W soit 8 kW) et surtout pas la puissance électrique absorbée par la machine (2300 W soit 2,3 kW).

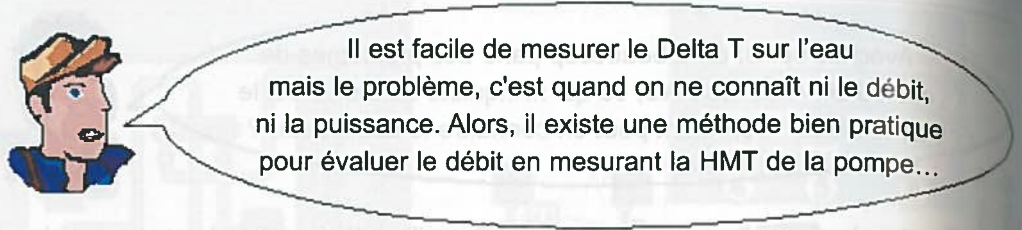
A NOTER 2 : Avec un Delta T de 10°C on obtient un débit de 0,7 m^3/h. Avec un Delta T de 5°C (donc 2 fois plus faible) le débit double puisqu'il passe de 0,7 à 1,4 m^3/h (donc 2 fois plus) : si le Delta T est divisé par 2, le débit double.

A NOTER 3 : Pour rendre service aux nombreux traumatisés par les maths on peut facilement obtenir l'ordre de grandeur du débit pour un Delta T de 8,5°C en divisant la puissance de chauffe par 10. Dans notre exemple, avec une puissance de chauffe de 8 kW, on obtiendrait un Delta T de 8,5°C avec un débit de 8 / 10 = 0,8 m^3/h

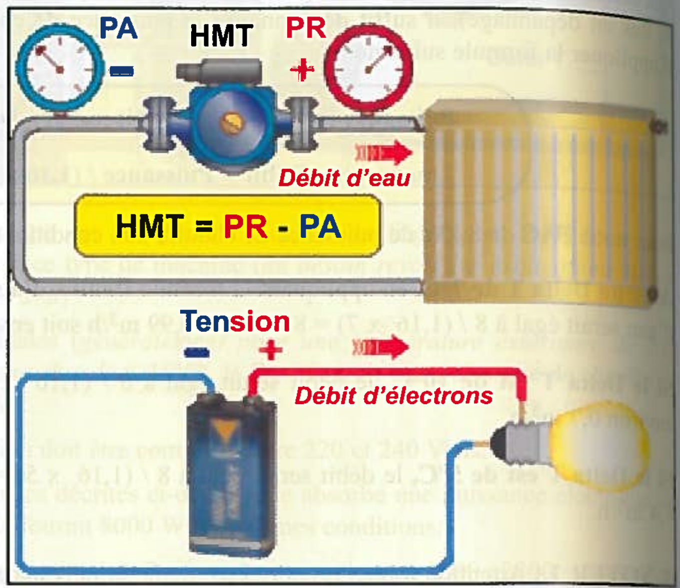
Attention, ce n'est qu'un ordre de grandeur. De plus n'oubliez pas que la puissance de chauffe de 8 KW de notre PAC n'est valable qu'aux conditions nominales, c'est-à-dire pour une température extérieure de 7°C avec un départ d'eau chaude à 35°C.

Ne perdez pas de vue que plus la température extérieure est faible, plus la puissance de la PAC diminue. Le débit étant constant, le Delta T sur l'eau diminue donc obligatoirement quand la température extérieure diminue.

Nous verrons cela plus en détails très bientôt mais dès à présent, sachez qu'on peut *évaluer* la perte de puissance d'une PAC aérothermique à *environ 3%* par degré de diminution de la température extérieure (selon la technologie de la machine).



En effet, la HMT c'est-à-dire le Delta P entre l'aspiration et le refoulement de la pompe peut nous donner des indications très utiles.

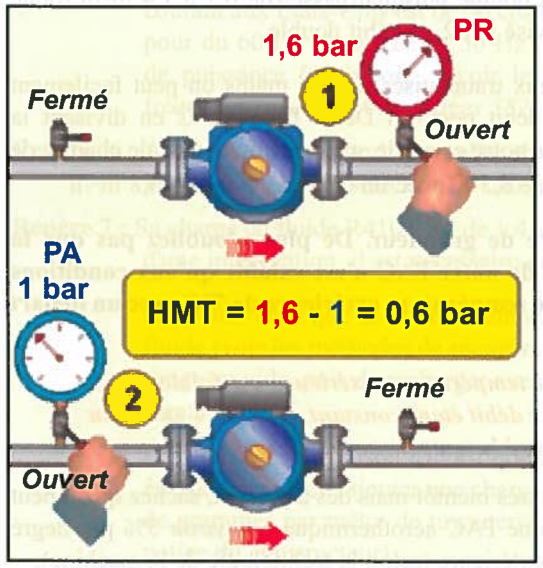


En fait la HMT nous renseigne sur la " poussée " du circulateur, sur " l'énergie " sous forme de pression qu'il fournit à l'eau.

Une pile fournit un débit d'électrons dans un circuit électrique. Par analogie, une pompe fournit un débit de molécules d'eau dans un circuit hydraulique.

La HMT d'un circulateur est tout à fait comparable à la tension fournie par une pile. Plus la tension de la pile est élevée, plus le débit d'électrons (c'est-à-dire l'intensité) sera important.

Afin de mesurer la HMT d'une pompe quelconque, la meilleure solution pour éviter les erreurs de mesure est de n'utiliser qu'un seul manomètre.



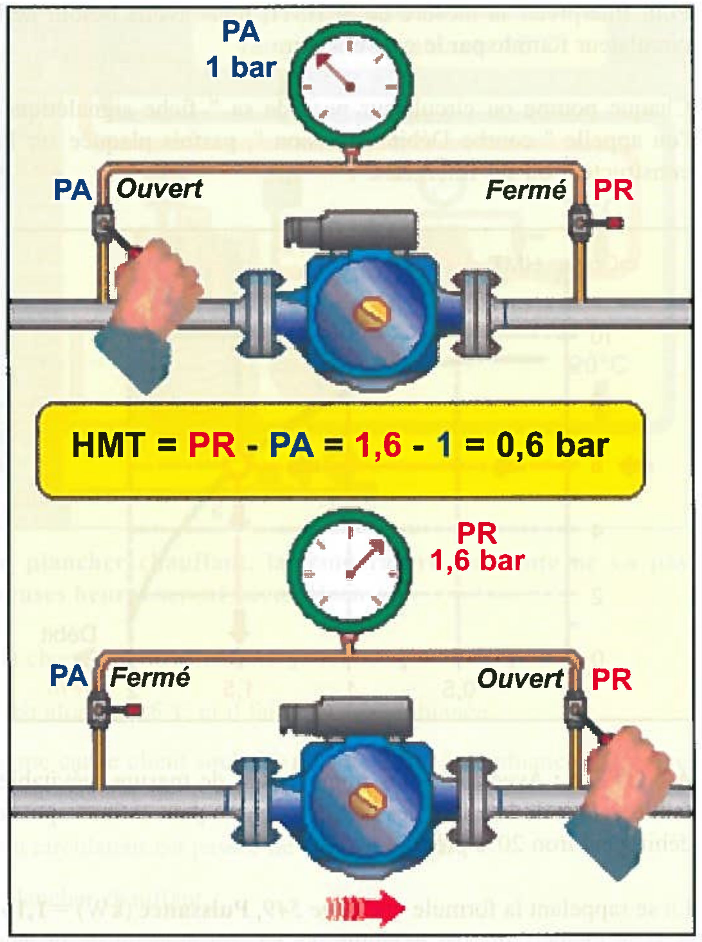
Si on trouve par exemple PR = 1,6 bar (**repère 1**) et PA = 1 bar (**repère 2**), la HMT du circulateur est égale à :

PR - PA = 1,6 - 1 = 0,6 bar

Nous savons que 1 bar = 10 mCE (Mètre de Colonne d'Eau), la HMT est donc égale à 0,6 bar ou 6 mCE.

A l'évidence, effectuer une mesure de la HMT de cette façon ne serait vraiment pas pratique puisqu'il faudrait à chaque fois monter puis démonter un manomètre unique...

A l'inverse de la méthode que nous venons de voir avec un seul manomètre qu'il faut monter et démonter, la mesure de la HMT avec un manomètre unique monté en différentiel est une opération simple et rapide.

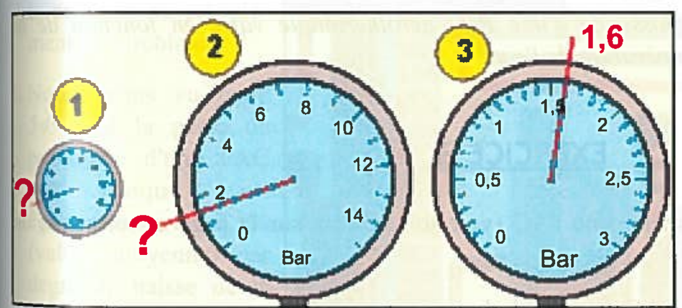


Il suffit d'effectuer la mesure de PA en veillant à ce que la vanne PR soit bien fermée et vice-versa.

Par exemple : en partant des 2 robinets fermés :

1. On ouvre le robinet PA, on note la valeur de PA puis on referme le robinet PA.
2. On ouvre le robinet PR, on note la valeur de PR puis on referme le robinet PR.
3. La valeur de la HMT est alors égale à PR - PA.

Attention à bien refermer les 2 robinets afin d'éviter un bipasse permanent aux bornes de la pompe.



ATTENTION : Mesurer une pression avec un minimum de précision nécessite un manomètre adapté à la mesure.

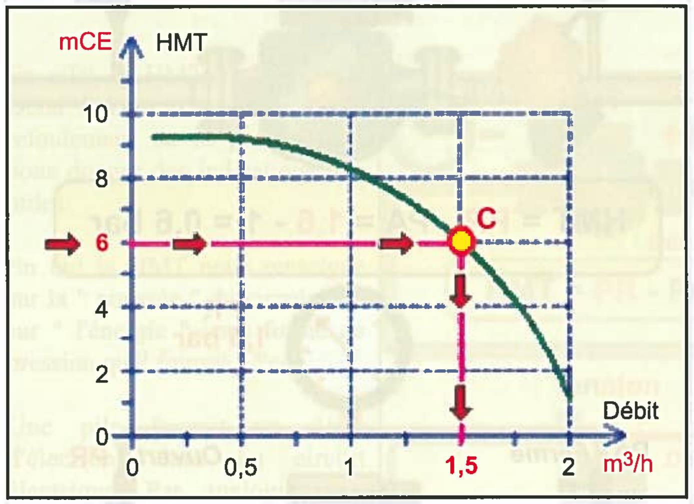
Par exemple, si vous essayez de lire une pression de 1,6 bar sur un manomètre de très petit diamètre (**repère 1**) ou sur un manomètre à grand cadran mais avec une plage beaucoup trop importante (**repère 2**), vous pouvez être sûr que votre mesure sera fausse !

Or, nous allons voir qu'une mesure précise de la HMT peut rendre d'énormes services.

Alors, prévoyons autant que possible d'installer chez le client un manomètre monté en différentiel avec un cadran suffisamment grand et avec une plage de mesure adaptée aux pressions de service de l'installation (**repère 3**).

Pour interpréter la mesure de la HMT, nous avons besoin de la courbe " débit / pression " du circulateur fournie par le constructeur.

Chaque pompe ou circulateur possède sa " fiche signalétique " ou " sa carte d'identité " que l'on appelle " courbe Débit / Pression ", parfois plaquée sur la pompe ou disponible auprès du constructeur ou sur Internet.



Tracez une horizontale passant par la valeur de la HMT mesurée (soit 6 mCE dans notre exemple).

Cette horizontale coupe la courbe du circulateur au point C.

Abaissez une verticale passant par C et lisez la valeur du débit (dans l'exemple on trouve un débit de 1,5 m^3/h).

Ainsi, une simple mesure de la HMT permet, grâce à la courbe du circulateur, de connaître le débit en circulation.

A NOTER : Avec toutes les imprécisions de mesure inévitables sur le chantier et à cause de la faible valeur de la HMT des circulateurs, on peut estimer que cette procédure donne la valeur du débit à environ 20% près.

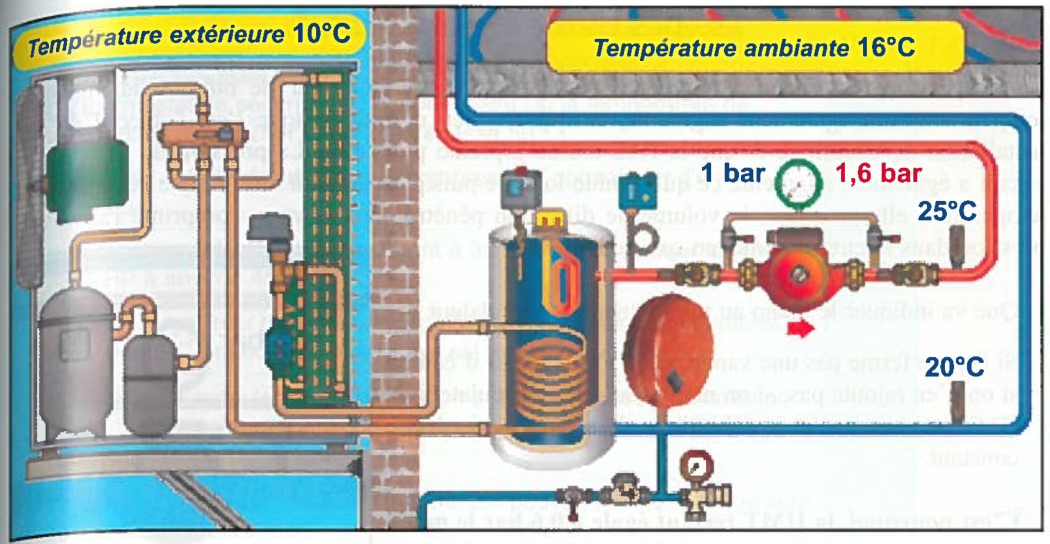
En se rappelant la formule vue *page 549*, **Puissance** (kW) = **1,16** x **Débit** (m^3/h) x **Delta T** (en °C) et si le Delta T est par exemple de 5°C *au moment de la mesure*, on peut en conclure que la puissance de chauffe de la PAC est à ce moment d'environ 1,16 x 1,5 x 5 = 8,7 kW.

Rappelez-vous toutefois que la puissance d'une PAC aérothermique varie en fonction de la température extérieure et de la température de l'eau.

EXERCICE 3

Le montage étant terminé, on démarre une PAC (voir son schéma sur la page ci-contre) et on effectue quelques mesures :

- Sur le plan frigorifique, la PAC est en chaud et en peine puissance.
- La température extérieure est de 10°C et il fait 16°C en ambiance.
- On mesure 1 bar à l'aspiration du circulateur et 1,6 bar à son refoulement, soit une HMT de 0,6 bar et un débit de l'ordre de 1,5 m^3/h selon la courbe de la pompe ci-dessus (nous admettrons que c'est cette pompe qui est installée sur la PAC).
- L'eau part à 25°C dans le plancher chauffant et en revient à 20°C. Comme nous venons de le voir, la puissance de chauffe de la PAC peut alors être évaluée à environ 8,7 kW.



Du fait de la grande inertie du plancher chauffant, la température ambiante ne va pas remonter rapidement, de nombreuses heures seront nécessaires.

C'est pourquoi vous repassez sur le chantier le lendemain :

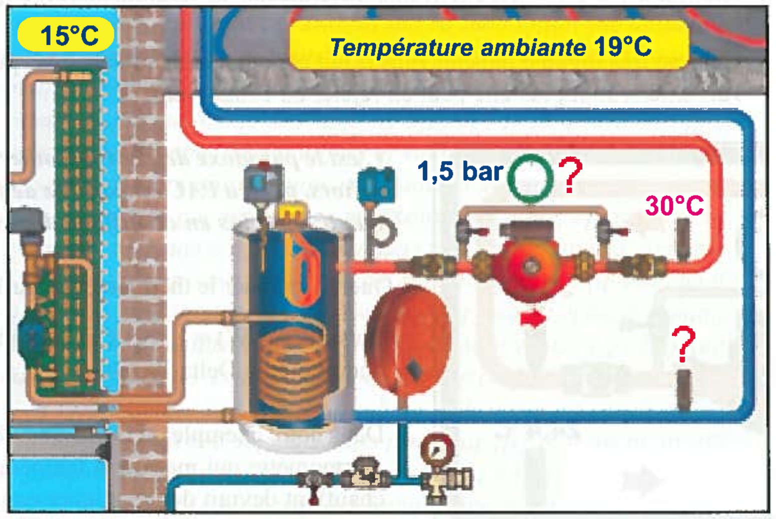
- La température extérieure est alors de 15°C et il fait 19°C en ambiance.

  La PAC tourne à plein régime car le client souhaite plus de 20°C en ambiance (c'est une villa neuve et il veut activer le séchage des plâtres et des peintures).
- La pression à l'aspiration du circulateur est passée de 1 bar à 1,5 bar.
- L'eau part à 30°C dans le plancher chauffant.

1. A votre avis, que va indiquer la mesure de la pression au refoulement du circulateur ?

2. Nous avons vu *page 549* que la perte de puissance d'une PAC aérothermique est égale à environ 2,5% (valeur moyenne) par degré de baisse de la température extérieure.

   Alors que devient selon vous la puissance de chauffe de notre PAC avec 15°C extérieur ?

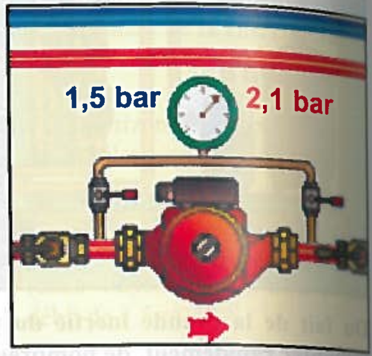


3. Que devrait indiquer maintenant le thermomètre qui mesure la température de l'eau de retour du plancher chauffant ?

Correction page suivante...

CORRECTION DE L'EXERCICE 3

La température extérieure a augmenté de 10 à 15°C. A l'intérieur de notre villa, toutes les températures ont également augmenté, ce qui est bien normal puisque c'est l'objectif de cette installation de chauffage et que la PAC tourne à pleine puissance. La pression de l'eau dans le circuit a également augmenté ce qui semble logique puisqu'au fur et à mesure que l'eau monte en température elle se dilate, le volume de dilatation pénètre dans le vase, comprime l'azote et la pression dans le circuit monte en conséquence.



1. Que va indiquer le mano au refoulement du circulateur ?

Si l'on ne ferme pas une vanne, si on n'enlève pas d'eau ou si on n'en rajoute pas, si on ne touche pas au circulateur, la HMT ne varie pas et le débit d'eau dans l'installation reste constant.

C'est pourquoi, la HMT restant égale à 0,6 bar le mano au refoulement de la pompe indique 1,5 + 0,6 = 2,1 bar

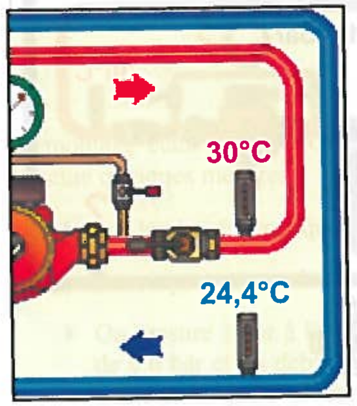
2. Que devient la puissance de chauffe de la PAC par 15°C extérieur ?

Si on peut évaluer la perte de puissance d'une PAC aérothermique à environ 2,5% par degré de baisse de la température extérieure, il est logique de penser que sa puissance de chauffe augmente d'environ 2,5% par hausse de la température extérieure.

Or, sa puissance est de 8,7 kW pour 10°C extérieur. Pour 15°C extérieur (soit 5°C de plus), sa puissance de chauffe doit augmenter d'environ 2,5 x 5 = 12,5% ce qui correspond à une augmentation de sa puissance de chauffe de 8,7 / 100 x 12,5 = 1,1 kW.

Par 15°C extérieur, la puissance de chauffe notre PAC au moment de la mesure est donc égale à environ 8,7 + 1,1 = 9,8 kW (rappelez-vous que ce n'est qu'un ordre de grandeur).

Cela est très logique puisque plus il fait chaud dehors, plus la PAC peut absorber de chaleur sur l'air extérieur et plus elle peut en rejeter au condenseur.



C'est le paradoxe des PAC aérothermiques : plus il fait chaud dehors, plus la PAC est capable de fournir de la chaleur alors que les besoins en chauffage diminuent.

3. Que va indiquer le thermomètre sur le retour du plancher ?

Puissance (kW) = 1,16 x Débit (m³/h) x Delta T (en °C). On en déduit que le Delta T = Puissance / (1,16 x Débit).

Dans notre exemple, le Delta T = 9,8 / (1,16 x 1,5) = 5,6°C. Le thermomètre qui mesure la température de retour du plancher chauffant devrait donc indiquer environ 30 - 5,6 = **24,4°C**.

Ne soyez pas étonné par ce Delta T. Plus il fait chaud dehors et plus la puissance de la PAC augmente. Mais, attendu que le débit du circulateur est constant, le Delta T augmente (et bien sûr, il diminue lorsque la température extérieure diminue).

	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°35 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX	
1	Un thermostat de sécurité doit couper la PAC si la température de départ dans le plancher chauffant dépasse 50°C			1
2	Plus la HP est élevée et moins le compresseur consomme d'énergie électrique			2
3	Si l'eau revient du plancher chauffant à 30°C on peut évaluer la valeur de la HP à environ 45 à 50°C			3
4	Le Delta T sur l'eau du plancher chauffant est généralement compris entre 5 et 8°C quand le compresseur est à pleine puissance			4
5	Si le dénivelé entre le vase d'expansion et le point haut de l'installation est de 5 m, le vase d'expansion doit être prégonflé avec une pression d'azote d'environ 0,8 à 1 bar			5
6	Le circulateur du plancher chauffant ne doit pouvoir fonctionner que si le compresseur fonctionne			6
7	Quand la PAC est en dégivrage elle ne chauffe plus l'eau du plancher chauffant mais au contraire, elle la refroidit			7
8	Plus il fait froid dehors et moins la PAC chauffe la maison			8
9	Puissance (kW) = 1,16 x Débit (m³/h) x Delta T (en °C)			9
10	Si une PAC a une puissance de chauffe de 10 kW on peut évaluer l'ordre de grandeur du débit d'eau dans l'installation à environ 10 m³/h			10

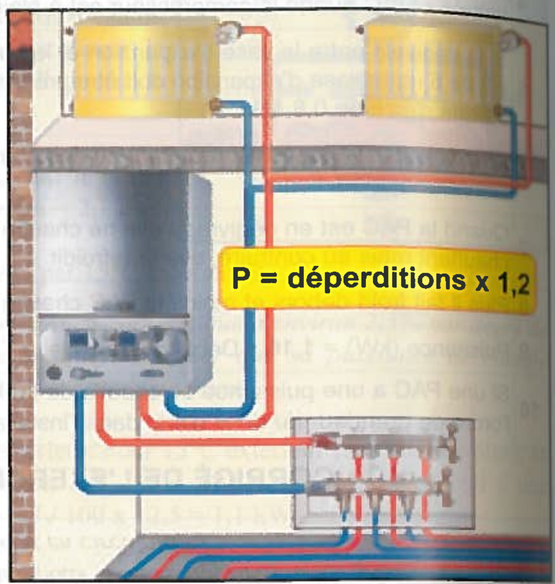
CORRIGÉ DE L'EXERCICE | FAUX | VRAI

1 : Vrai, C'est un appareil indispensable pour respecter la réglementation. - 2 : faux, c'est l'inverse. Si la HP est faible, le compresseur doit fournir moins d'énergie pour comprimer les gaz de la BP à la HP. Puisqu'il comprime les gaz plus facilement, le compresseur consomme moins d'énergie électrique, ce qui améliore très sensiblement le rendement de la machine. - 3 : Faux, sur la plupart des PAC aérothermiques, on considère comme normal un Delta T total de 10 à 12°C entre la température de condensation et la température d'entrée d'eau dans le ballon, selon le type de PAC utilisé. C'est pourquoi, avec un retour d'eau à 30°C, la HP serait à environ 40 à 42°C soit entre 23 et 25 bar avec du R410A. - 4 : Vrai, mais selon le type de machine et uniquement si le compresseur est à pleine puissance. - 5 : Vrai, il faut 0,5 bar pour le dénivelé de 5 m + une marge de sécurité de 0,3 à 0,5 bar. - 6 : Faux, c'est l'inverse. Si le circulateur s'arrête, le compresseur doit aussitôt s'arrêter. - 7 : Vrai. Elle puise la chaleur nécessaire au dégivrage dans le ballon d'eau chaude. Notez cependant que le dégivrage est suffisamment bref et l'inertie du plancher chauffant suffisamment importante pour que cela n'ait pas d'influence sur la température ambiante des locaux chauffés. - 8 : Vrai, et c'est bien là un réel problème quand il s'agit de déterminer la puissance à installer. - 9 : Vrai, mais faites attention aux unités pour ne pas trouver des résultats complètement farfelus ! - 10 : Faux, pour une puissance de 10 kW, l'ordre de grandeur du débit d'eau serait de 1 m³/h (et donc 10 fois moins) en considérant un Delta T sur l'eau de 8,5°C (cette approximation peut rendre service afin de donner un ordre de grandeur du débit en circulation).

Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.



Il existe d'excellents logiciels de sélection pour ce type de matériel. Votre fournisseur en possède sûrement un et il se fera un plaisir de vous aider. Néanmoins, nous allons voir dans les grandes lignes quelques principes de base.



Quel que soit le mode de chauffage à installer chez un client (PAC, chaudière, etc.), il est indispensable de connaître la puissance nécessaire.

Dans le cas d'une chaudière, sa puissance doit être du même ordre de grandeur que la puissance du circuit de chauffage, qu'il se fasse par radiateurs ou/et plancher chauffant.

Si la puissance de la chaudière est trop importante, elle permettra de répondre à tous les besoins par exemple jusqu'à -15°C extérieur. Cependant, le prix de l'installation sera élevé et le rendement faible car une chaudière surpuissante aura tendance à court-cycler pour les températures extérieures " douces ", sauf si on installe un gros ballon de stockage, mais cela coûte plus cher.

A l'inverse, si la chaudière est sous dimensionnée, elle provoquera à coup sûr des insatisfactions lors des journées les plus froides de l'hiver.

Il faut donc calculer les besoins réels en fonction des déperditions. Cela se fait de nos jours assez simplement grâce aux logiciels de sélection. A titre d'exemple, pour notre villa neuve très bien isolée de 120 m², on a calculé le total des déperditions pour -7°C extérieur et on a trouvé 6 kW (ce qui correspond à environ 50 W/m²).

Afin de permettre au système de chauffage de rester efficace les rares fois où la température extérieure sera inférieure à -7°C, ou de lui permettre de remonter plus rapidement la température ambiante après un réduit de nuit, on rajoute environ 20% aux déperditions.

Cela donne dans l'exemple de notre villa neuve une puissance de chauffe à installer de l'ordre de 6 x 1,2 = environ 7 kW.

Les PAC aérothermiques sont en quelque sorte des " chaudières thermodynamiques " mais leur puissance est variable en fonction des conditions de fonctionnement, en particulier la température de sortie d'eau chaude et la température de l'air à l'entrée de l'évaporateur...

Alors, comment sélectionner la bonne PAC pour notre villa ?

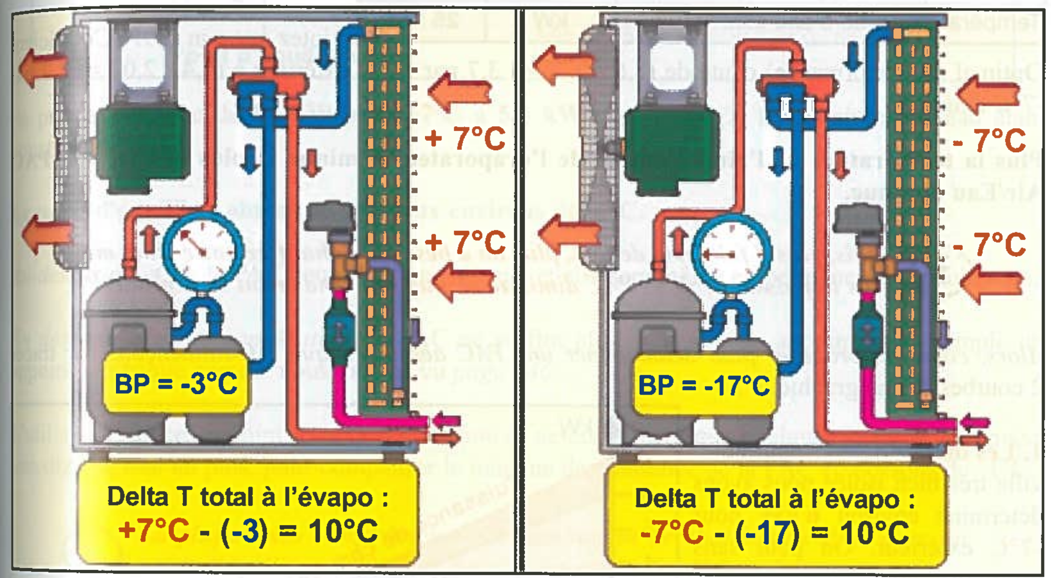
Les constructeurs (voir exemple ci-contre) indiquent la puissance calorifique (ainsi que le COP) de leurs PAC aérothermiques pour des conditions nominales fixées à +7°C pour la température extérieure et à 35°C pour la sortie d'eau chaude.

Pompe à chaleur Air/Eau		
Chauffage seul - Modèle KOTZ08		
Pour plancher chauffant - T ext. = 7°C - Eau à 30/35°C		
Puissance calorifique	kW	8,6
Puissance absorbée nominale	kW	2.32
COP		3,7
Puissance absorbée totale maximale	kW	2,87

Ces paramètres ne sont pas les conditions maximales de fonctionnement mais les conditions moyennes sur un hiver.

A titre d'exemple, il y a en moyenne à Paris environ 14 jours à +6°C, 15 jours à +7°C, 15 jours à +8°C etc. mais seulement 10 jours de chauffage pour une température inférieure à -5°C.

En fait, on peut considérer sous nos climats (à quelques variantes près) que pour une saison de chauffage, la température moyenne extérieure est d'environ +7°C ce qui nécessite une température de départ d'eau d'environ 35°C pour un plancher chauffant.



Nous avons vu *page 170* que le Delta T total à l'évaporateur (c'est-à-dire la température d'entrée d'air - la température d'évaporation) reste sensiblement constant.

Avec une PAC aérothermique, le Delta T total à l'évaporateur est d'une dizaine de °C sur la plupart des machines.

Pour retirer de la chaleur à de l'air à +7°C (conditions nominales) le fluide frigorigène va donc s'évaporer à environ -3°C, soit un Delta T total de **10°C**.

Si la température extérieure chute à -7°C le fluide frigorigène va s'évaporer à environ -17°C, soit un Delta T total sensiblement identique de **10°C**.

Reprenons la documentation de la PAC KOTZ08 :

On constate que la puissance calorifique de cette PAC passe de 8,6 kW pour +7°C extérieur à seulement 5,4 kW pour -7°C (à température d'eau constante de 35°C).

Pompe à chaleur Air/Eau		
Chauffage seul - Modèle KOTZ08		
Pour plancher chauffant - T ext. = 7°C - Eau à 30/35°C		
Puissance calorifique nominale à +7°C	kW	8,6
Puissance absorbée nominale à +7°C	kW	2,32
COP		3,7
Puissance absorbée totale maximale	kW	2,87
Intensité maximale	A	13,8
Puissance calorifique à -7°C	kW	5,4
Puissance absorbée à -7°C	kW	2,02
Débit d'eau	m³/h	1,5
Pression disponible	kPa / mCE	32 / 3,2
Limites de fonctionnement T ext.	°C	-15 / +20
Température sortie d'eau Mini / Maxi	kW	25 / 55

Ainsi, la puissance de chauffe diminue de 8,6 - 5,4 = 3,2 kW pour une chute de 7 - (-7) = 14°C de la température extérieure, soit une perte de puissance d'environ 3,2 / 14 = 0,23 kW par °C ou encore 100 / 8,6 x 0,23 = 2,7% par °C.

Plus la température extérieure diminue et plus la puissance de chauffe des PAC Air/Eau diminue.

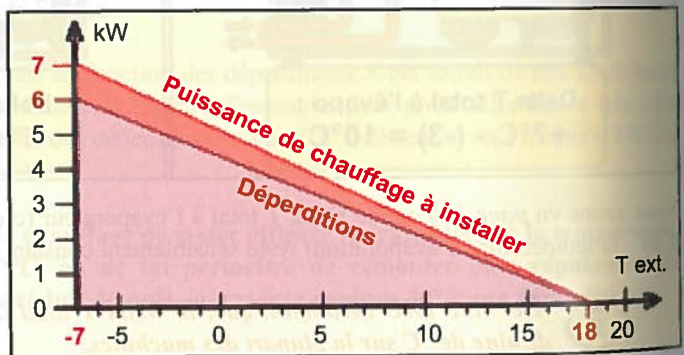
Notez que son COP (Coefficient Optimal de Performance) chute de (8,6 / 2,32 =) 3,7 par +7°C extérieur à (5,4 / 2,02 =) 2,7 par -7°C extérieur.

Plus la température de l'air à l'entrée de l'évaporateur diminue et plus le COP des PAC Air/Eau diminue.

Ainis, plus il fait froid dehors, plus on a besoin de chauffer notre villa, mais plus la puissance de la PAC diminue et plus son rendement se dégrade.

Alors, comment procéder pour sélectionner une PAC aérothermique ? Commençons par tracer 2 courbes sur un graphique :

1. Les déperditions : pour notre villa très bien isolée nous avons déterminé environ **6 kW** pour **-7°C** extérieur. On peut sans problème considérer que les déperditions seront nulles pour **18°C** extérieur.

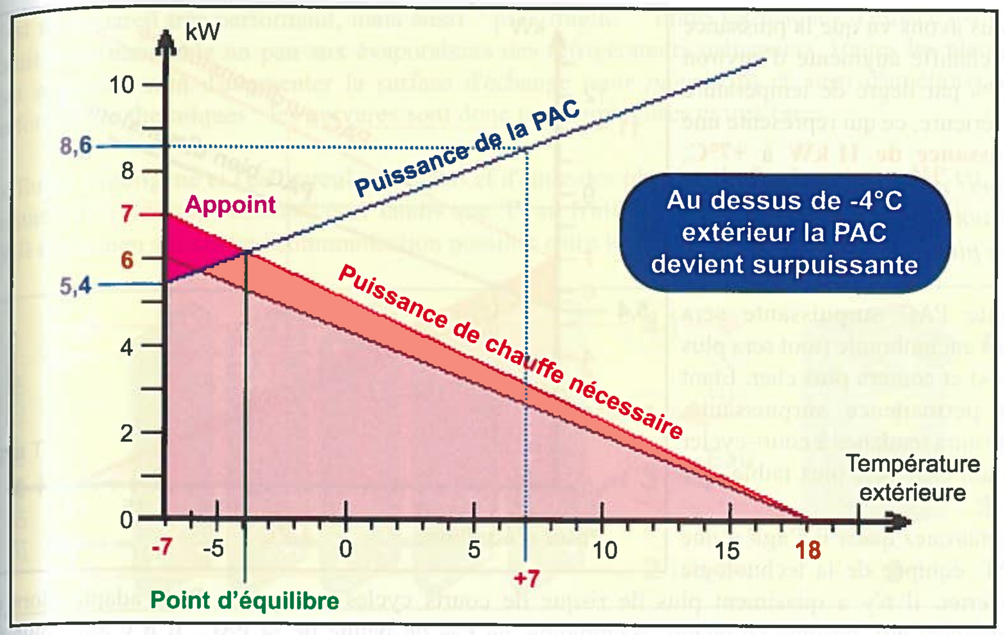


On joint alors ces 2 points pour obtenir la courbe représentative des déperditions (en marron).

2. La puissance à installer : Comme nous l'avons vu *page 556*, la puissance à installer doit être supérieure aux déperditions d'environ 20%, soit dans notre exemple une puissance nécessaire de l'ordre de **7 kW** pour **-7°C**.

On peut alors superposer à la courbe des déperditions celle de la puissance de chauffage nécessaire.

A ce moment, rajoutons sur la courbe précédente celle de la puissance de la PAC KOTZ08 en fonction de la température extérieure.



Sa puissance passe de **8,6 kW** pour **+7°C** à **5,4 kW** pour **-7°C** (la température de l'eau étant constante à **35°C**).

Le point d'équilibre obtenu se situe aux environs de -4°C.

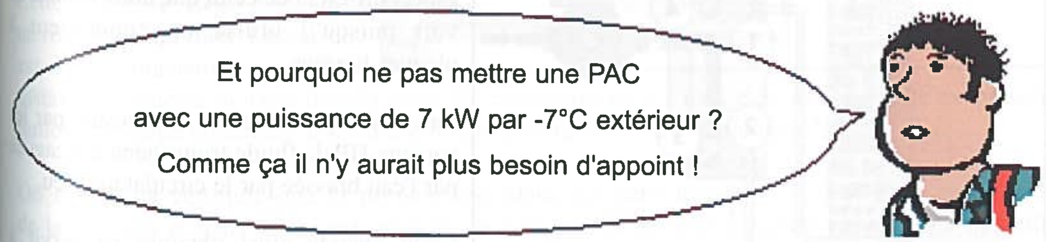
Au-dessus de -4°C, la PAC peut fonctionner seule et elle sera même en permanence surpuissante.

En dessous de cette température, la PAC ne suffira plus, il faudra un appoint, par exemple un appoint électrique comme nous l'avons vu *page 546*.

L'utilisation de cet appoint (**surface rose foncé**) ne concernera que quelques jours dans l'année, une dizaine tout au plus, pour compenser le manque de puissance de la PAC en dessous de **-4°C**.

La plupart des constructeurs recommandent de choisir une PAC avec un point d'équilibre à 80% des besoins ou voisin de -3°C extérieur.

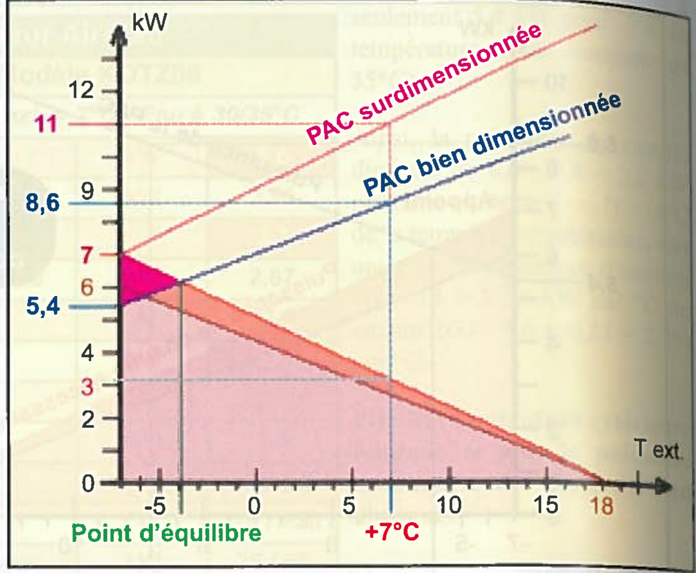
La PAC aérothermique KOTZ08 correspond tout à fait à ces préconisations pour chauffer notre villa nécessitant une puissance de chauffe 7 kW.



En effet, pourquoi pas ? Et vous, qu'en pensez-vous ?

Pour répondre à Alexis, prenons une PAC aérothermique ayant une puissance de chauffe de 7 kW par -7°C extérieur.

Nous avons vu que la puissance de chauffe augmente d'environ 2,5% par degré de température extérieure, ce qui représente une **puissance de 11 kW à +7°C**, *alors que l'on a seulement besoin à cette température d'un peu plus de 3 kW !*



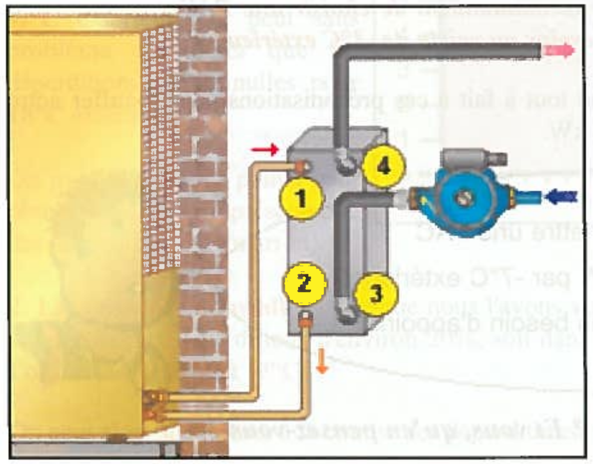
Cette PAC surpuissante sera plus encombrante (tout sera plus gros) et coûtera plus cher. Étant en permanence surpuissante, elle aura tendance à court-cycler et son COP sera plus faible.

Remarquez que s'il s'agit d'une PAC équipée de la technologie Inverter, il n'y a quasiment plus de risque de courts cycles puisque la PAC adapte alors sa puissance aux besoins en chaud. Néanmoins, en cas de panne de la PAC, il n'y aura plus de chauffage, l'installation d'un appoint reste donc nécessaire quel que soit le type de PAC.

A NOTER : Le problème ne se pose pas pour les PAC de type Eau /Eau (que nous verrons un peu plus tard) dont la puissance reste sensiblement constante toute l'année et que l'on peut donc choisir sans problème pour les déperditions maximales.

Et le condenseur de la PAC, c'est toujours un serpentin ? J'ai vu sur des docs des échangeurs à plaques, qu'est-ce-que c'est au juste ?





Sur l'exemple ci-contre, le chauffage s'effectue également grâce à une Pompe à Chaleur aérothermique mais, vu de l'extérieur, son module hydraulique a un aspect différent de celui que nous venons de voir puisqu'il utilise un condenseur à plaques brasées.

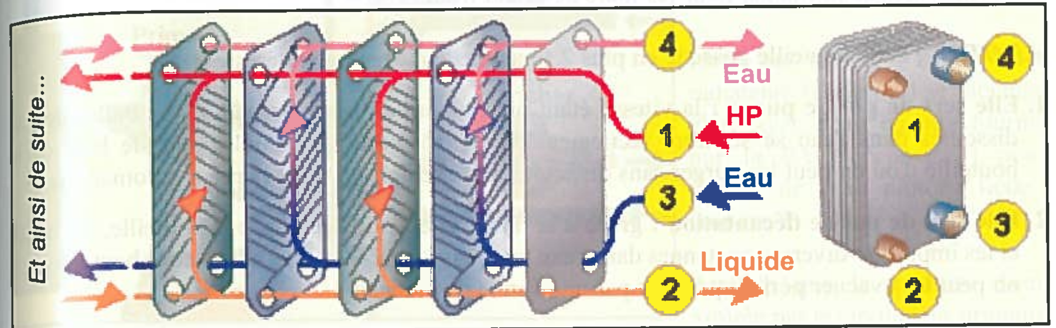
La chaleur perdue en se condensant par les vapeurs HP de fluide frigorigène est gagnée par l'eau brassée par le circulateur bleu.

L'eau chaude ainsi obtenue va servir à chauffer la villa...

Le condenseur à plaques brasées utilisé par ce module hydraulique est beaucoup moins encombrant que le condenseur à serpentin vu précédemment.

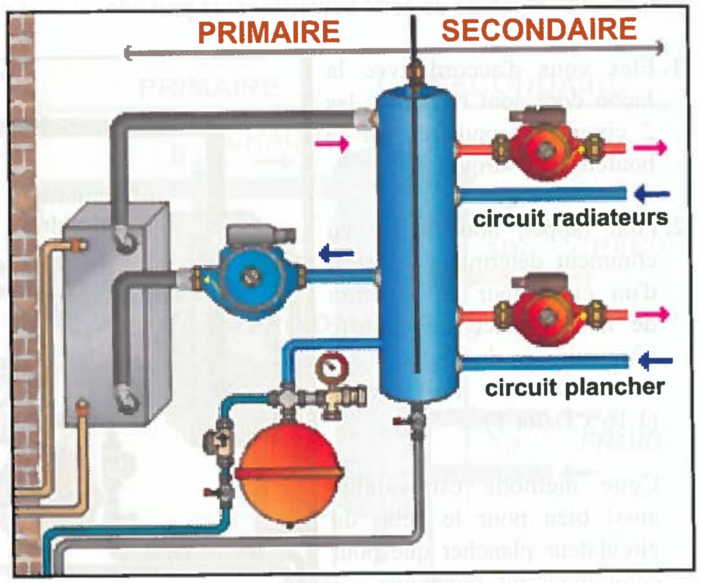
C'est un appareil très performant, mais aussi " plus fragile ". Entre les plaques, l'espace est très réduit (cela ressemble un peu aux évaporateurs des réfrigérateurs ménagers). Toutes les plaques sont nervurées afin d'augmenter la surface d'échange (*voir page 536*) et ainsi d'améliorer les performances thermiques : les nervures sont donc très nombreuses et très fines.

Le fluide frigorigène et l'eau circulent de part et d'autre des plaques (le fluide entre en **HP** en **1** et ressort en **liquide sous refroidi** en **2** tandis que **'l'eau froide'** entre en **3** et ressort **réchauffée** en 4). Il n'y a bien sûr aucune communication possible entre le fluide et l'eau..



Le chauffage de la villa se fait par un plancher chauffant au rez-de-chaussée et par des radiateurs à l'étage, ce qui est une disposition très classique.

Attendu qu'il y a 2 zones de chauffage différentes, il doit y avoir 2 circuits distincts, chacun étant équipé de son propre circulateur.



Le montage hydraulique de ces circuits est représenté ci-contre **(voir détails avec le corrigé de l'exercice 4 page suivante).**

Très fréquemment utilisé, ce montage est appelé **" bouteille casse pression ".**

Cette bouteille casse-pression a un rôle très important. Lorsqu'elle est bien dimensionnée et bien installée, la vitesse de l'eau dans la bouteille est voisine de 0,1 m/s, c'est-à-dire qu'elle est presque nulle. Sous cette condition, il n'y a quasiment pas de Perte de Charge dans la bouteille.

On a alors la certitude que la pression est identique dans le primaire (côté PAC, production de la chaleur) et dans le secondaire (côté distribution de la chaleur), d'où son nom de bouteille casse-pression...

La bouteille casse pression permet d'assurer le transfert de la chaleur entre le primaire et le secondaire en éliminant tout risque d'interférence entre les débits de ces deux circuits.

Par exemple, si le circulateur des radiateurs venait à s'arrêter, quelle qu'en soit la raison, cela n'aurait aucune influence sur le débit du circulateur primaire (et donc sur le fonctionnement de la PAC) ou sur le débit du circulateur du plancher chauffant.

La bouteille casse-pression permet de rendre le débit dans chacun des 3 circulateurs totalement indépendant du fonctionnement des 2 autres.

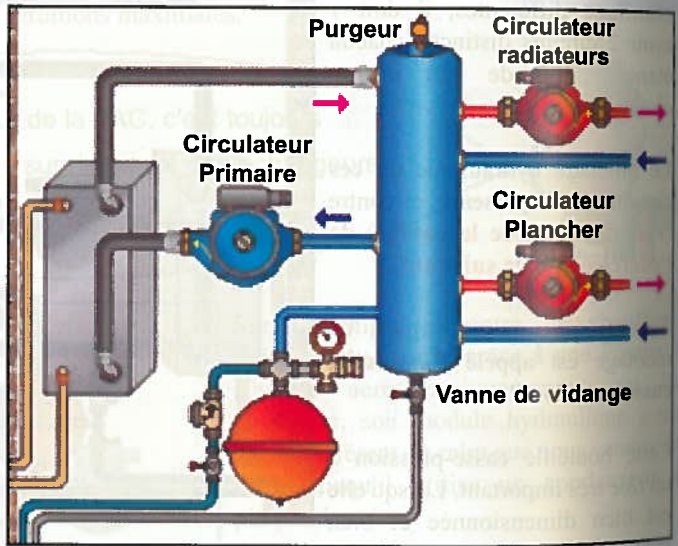
Bien sûr, vu son faible volume, ce n'est pas un ballon tampon et elle serait bien incapable d'emmagasiner de la chaleur pour les jours de grand froid.

A NOTER : cette bouteille possède en plus 2 fonctions annexes très intéressantes :

1. **Elle sert de pot de purge :** la vitesse étant presque nulle dans la bouteille, les bulles de gaz dissoutes dans l'eau se séparent facilement du liquide pour s'accumuler dans le haut de la bouteille d'où on peut les purger sans difficulté, par exemple avec un purgeur automatique.
2. **Elle sert de pot de décantation :** grâce à la faible vitesse de l'eau dans la bouteille, les boues et les impuretés diverses contenues dans l'eau tombent par gravité dans le bas de la bouteille d'où on peut les évacuer périodiquement par une vanne de vidange.

EXERCICE 4

Observez le montage de cette bouteille casse pression.



1. Etes vous d'accord avec la façon dont sont raccordés les 2 circuits secondaires sur la bouteille ? Pourquoi ?
2. Pour rappel, nous avons vu comment déterminer le débit d'un circulateur en fonction de la puissance de chauffe nécessaire et du Delta T sur l'eau : Débit = Puissance / (1,16 x Delta T).

   Cette méthode est valable aussi bien pour le débit du circulateur plancher que pour celui du circuit radiateurs.

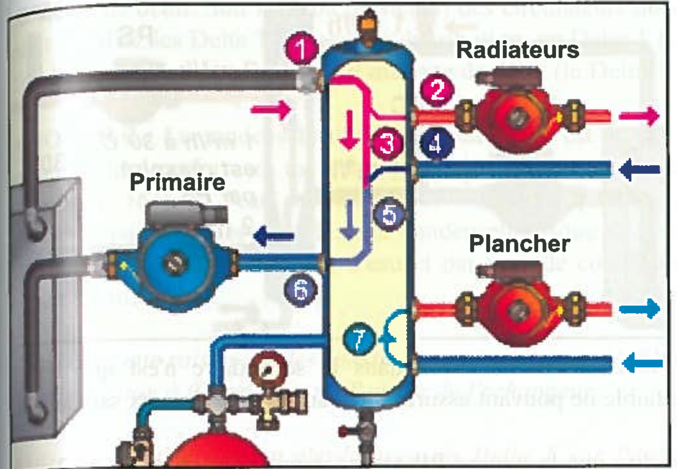
   Mais, comment déterminer le débit du circulateur primaire ? Son débit doit-il être plutôt supérieur ou plutôt inférieur à la somme des 2 autres ? Cela a-t-il de l'importance ?

Correction page suivante...

CORRECTION DE L'EXERCICE 4

1. Etes vous d'accord avec la façon dont sont raccordés les 2 circuits sur la bouteille ?

Observons la circulation de l'eau à l'intérieur de la bouteille casse-pression, telle qu'elle est raccordée actuellement.



L'eau chaude en provenance de la PAC (**repère 1**) arrive en haut de la bouteille. Une partie de cette eau chaude est aspirée par le circulateur radiateurs (**repère 2**).

L'eau qui revient " froide " des radiateurs (**repère 4**) se mélange alors avec l'eau chaude fournie par la PAC (**repère 3**) pour donner de l'eau plutôt " tiède " (**repère 5**).

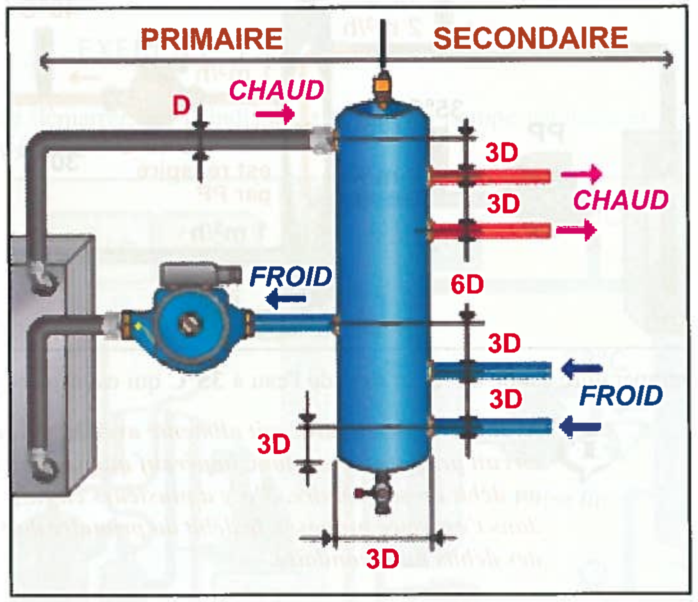
Attendu que la quantité d'eau aspirée par le circulateur primaire (**repère 6**) est strictement égale à celle qu'il refoule (**repère 1**), l'intégralité de l'eau " tiède " (**repère 5**) retourne vers l'échangeur à plaques ! Le circulateur du plancher chauffant ne peut donc aspirer ni eau chaude, ni eau tiède et il brasse continuellement de l'eau froide (**repère 7**) : le plancher " chauffant " ne chauffera donc jamais ! *C'est le client qui va être content !*

Qu'aurait-il fallu faire ?

Pour qu'une bouteille casse pression transmette correctement la chaleur du primaire vers le secondaire, il faut respecter certaines règles.

En particulier, tous les piquages véhiculant du " **chaud** " doivent être dans la partie haute de la bouteille et tous ceux véhiculant du " **froid** " doivent être en partie basse.

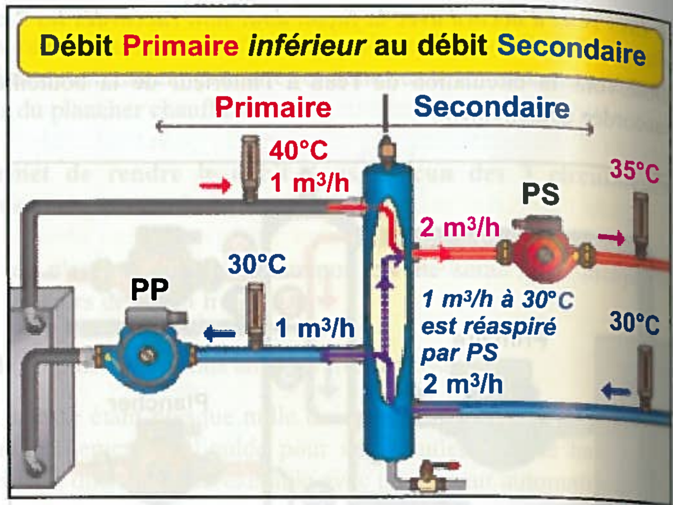
Par rapport au diamètre **D** du circuit primaire, le diamètre de la bouteille doit être proche de **3 fois D**.



Toutes les autres cotes entre les différents piquages doivent respecter la **" règle des 3 D "** comme représenté ci-dessus avec une zone de séparation conseillée d'au moins **6 fois D** entre le piquage du tube chaud le plus bas et celui du tube froid le plus haut.

2. Comment déterminer le débit du circulateur primaire ?

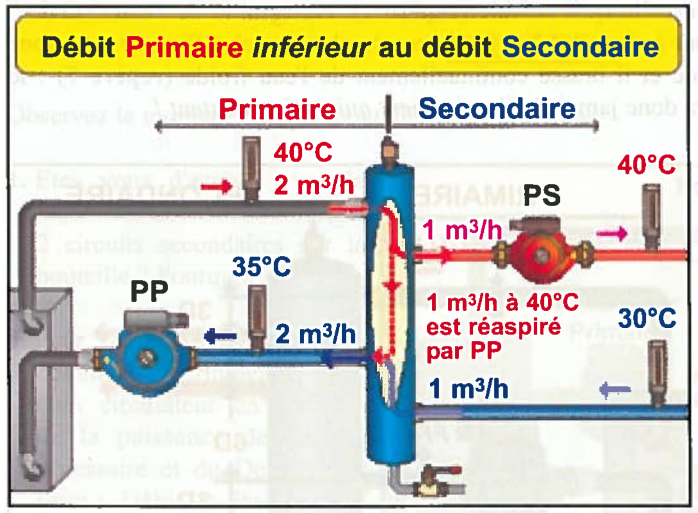
Pour répondre à cette question, examinons le schéma simplifié ci-contre en admettant un débit de **1 m³/h** assuré par la Pompe Primaire **PP** et de **2 m³/h** assuré par la Pompe Secondaire **PS**.



A ce moment, 1 m³/h d'eau à **40°C** arrive dans le haut de la bouteille. Mais, attendu que la pompe **PS** aspire **2 m³/h**, le m³/h qui manque est aspiré dans le bas de la bouteille dont la température est de **30°C**.

Ainsi, alors que la production d'eau chaude fournit de l'eau à **40°C**, l'eau distribuée dans le secondaire n'est qu'à **35°C**, c'est-à-dire à une température trop faible ne pouvant assurer un chauffage des locaux satisfaisant.

A présent, faisons l'inverse, c'est-à-dire que la pompe **PP** assure maintenant un débit de **2 m³/h** tandis que le débit de la pompe **PS** n'est plus que de **1 m³/h**. On a donc **2 m³/h** d'eau à **40°C** qui arrivent dans le haut de la bouteille.



La pompe **PS** n'aspirant que **1 m³/h**, c'est bien de l'eau à **40°C** qui est distribué dans le secondaire et qui revient à **30°C** en assurant parfaitement le chauffage des locaux.

A ce moment, attendu que la pompe **PP** aspire **2 m³/h**, le m³/h qui manque est aspiré dans le haut de la bouteille dont la température est de **40°C**, et c'est de l'eau à **35°C** qui est aspirée par la pompe **PP**.

Afin que le secondaire soit alimenté avec la même température que celle du circuit primaire, il est donc impératif que le débit du primaire soit supérieur au débit du secondaire. S'il y a plusieurs circuits sur le secondaire (comme dans l'exercice proposé), le débit du primaire doit être supérieur à la somme des débits du secondaire.

Afin d'éviter une température trop élevée du retour vers la PAC (qui aurait pour inconvénient d'augmenter la HP et donc de réduire le COP), on sélectionne un circulateur primaire avec un débit supérieur de 5 à 10% à la somme des débits des circulateurs du secondaire.



A NOTER 1 : rappelez-vous que de nombreux circulateurs sont équipés d'un réglage de la vitesse (*voir page 525*). Cela peut vous rendre de grands services en cas de problème de débits.

Dans la pratique, il est facile de vérifier sur une bouteille casse pression que la température de départs des secondaires n'est pas inférieure à la température du primaire. Si c'est le cas, il y a un problème de débit. Soit l'un (ou plusieurs) des circulateurs du secondaire a été réglé avec trop de débit (vérifiez les Delta T sur chaque distribution, un Delta T trop faible indique un surdébit), soit c'est le circulateur du primaire qui manque de débit (le Delta T n'est-il pas trop important ?).

A NOTER 2 : Le condenseur utilisé sur notre PAC est un échangeur à plaques brasées. C'est un appareil super performant mais fragile car les canaux dans lesquels l'eau circule sont très étroits (*voir page 561*). Si l'eau est chargée de boues, ce qui n'est pas rare dans les installations de chauffage par plancher chauffant, le condenseur risque de se colmater, ce qui provoquerait une importante diminution du débit d'eau et par voie de conséquence des pannes à répétions sur le circuit frigorifique.

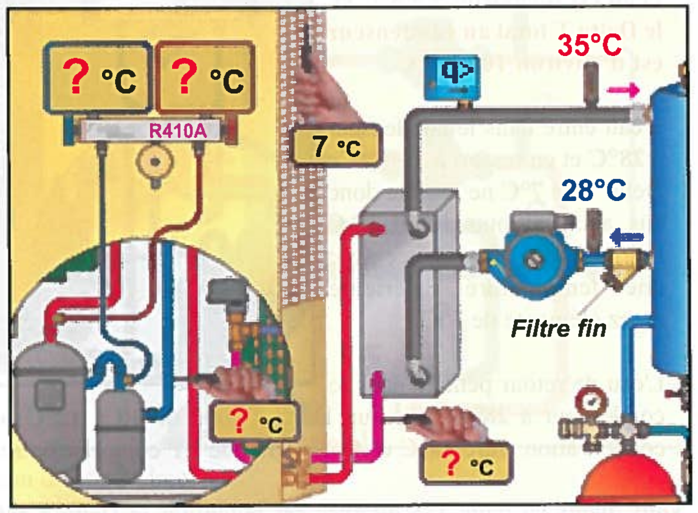
C'est pour cette raison que les constructeurs imposent généralement l'installation d'un filtre fin sur l'eau (filtration à 0,5 mm) avant l'entrée de l'échangeur.

Alors, en cas de HP trop élevée avec un Delta T sur l'eau trop important (symptômes d'un manque de débit d'eau), pensez au filtre (voir schéma ci-dessous) ! De plus, si le filtre se colmate le débit du primaire s'effondre et on retrouve les symptômes d'un surdébit au secondaire. Il ne faudrait alors surtout pas modifier le réglage des circulateurs !

A présent, faisons un petit exercice pour résumer nos connaissances sur ce type d'installation.

EXERCICE 5

1. Pour que le compresseur puisse démarrer, est-il indispensable que la pompe primaire et les 2 pompes secondaires soient en service ?



2. Comme vous le voyez sur le schéma, il fait 7°C dehors, l'eau entre dans l'échangeur à plaques à **28°C** et en ressort à **35°C**. Si la PAC est à pleine puissance, quelles sont les valeurs approximatives de la **HP** et de la **BP** ?

3. Quel est l'ordre de grandeur de la température que devrait indiquer le thermomètre placé sur le départ liquide et par celui placé sur l'aspiration du compresseur ?

Correction page suivante...

CORRECTION DE L'EXERCICE 5

1. Est-il indispensable que la pompe primaire et les 2 pompes secondaires soient en service ?

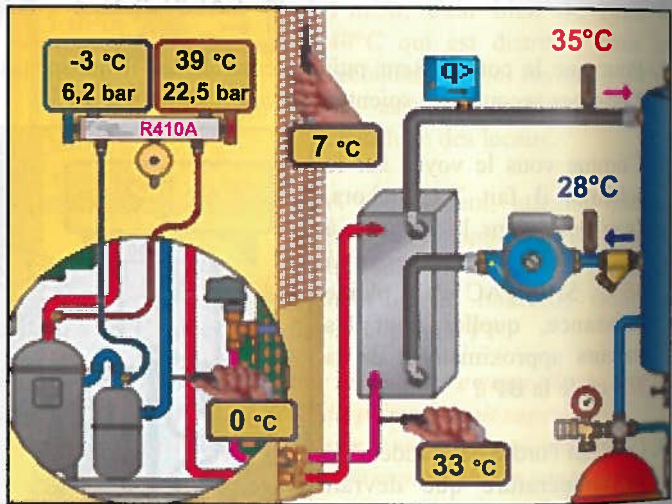
Nous avons vu que le maintien d'un débit constant dans le condenseur était primordial pour le fonctionnement de la PAC, sous peine de la faire couper en sécurité HP. A propos, si vous n'avez pas remarqué le contrôleur de débit sur le primaire, vous n'êtes pas assez observateur, cela pourra vous jouer des tours sur les chantiers ! Le rôle de ce contrôleur est de couper la PAC pour toute diminution anormale du débit (par exemple si une vanne est fermée sur le primaire, si le circulateur est grippé, etc.).

Comme c'est le circulateur primaire qui assure ce débit constant, le compresseur ne doit démarrer que si ce circulateur est en fonctionnement et si le débit est correct. Mais nous avons également vu *page 562* que dans le cas où les circulateurs secondaires seraient à l'arrêt, cela n'aurait aucune influence sur le débit dans le circuit primaire grâce à la bouteille casse-pression.

En conclusion, la PAC ne doit démarrer que si le circulateur primaire fonctionne, même si les 2 circulateurs du circuit secondaires sont à l'arrêt.

A NOTER : Si les 2 circulateurs du circuit secondaire sont à l'arrêt, mais que celui du circuit primaire est en service, la PAC va démarrer. Lorsque l'eau du primaire sera à température (ce qui se fera très rapidement vu le faible volume d'eau dans ce circuit), la PAC va s'arrêter en régulation. A ce moment, si vous mettez en service les 2 autres circulateurs, l'afflux d'eau " froide " arrivant du retour des radiateurs et du plancher va rapidement faire baisser la température de l'eau du primaire. Détectant cette baisse de température, le thermostat de régulation va alors redémarrer la PAC pour assurer la fourniture d'eau chaude.

2. Quelles sont les valeurs approximatives de la HP et de la BP ?



Nous avons vu *page 538* qu'avec la plupart des PAC aérothermiques le Delta T sur l'eau est d'environ 5 à 8°C et le Delta T total au condenseur est d'environ 10 à 12°C.

L'eau entre dans le condenseur à 28°C et en ressort à 35°C. Ce Delta T de 7°C ne semble donc pas anormal puisque la PAC tourne à pleine puissance avec une température extérieure assez clémente de 7°C.

L'eau de retour pénètre dans le condenseur à 28°C. Avec un Delta T total de 10 à 12°C on peut évaluer la température de condensation entre 38°C et 40°C (soit une HP comprise entre 22 et 23 bar avec du R410A).

Nous avons vu page 545 qu'avec ces machines le Delta T total à l'évaporateur est très voisin d'une dizaine de °C....

Attendu qu'il fait 7°C dehors, on peut évaluer la température d'évaporation à environ -3°C (pour rappel, la température des ailettes frôle alors 0°C et un léger givrage peut commencer à apparaître, selon l'humidité extérieure), ce qui correspond à une pression de l'ordre de **6,2 bar** avec le R410A.

3. Quel est l'ordre de grandeur de la température du départ liquide en sortie condenseur et du tube d'aspiration du compresseur ?

Sur ce type de machine, on peut évaluer le sous refroidissement (*au besoin, revoir page 267*) à environ 5 à 7°C, selon la température de retour d'eau. Avec une température de condensation d'environ 39°C, le départ liquide en sortie condenseur doit être aux alentours de 33°C, ce qui est tout à fait cohérent avec un retour d'eau à 28°C.

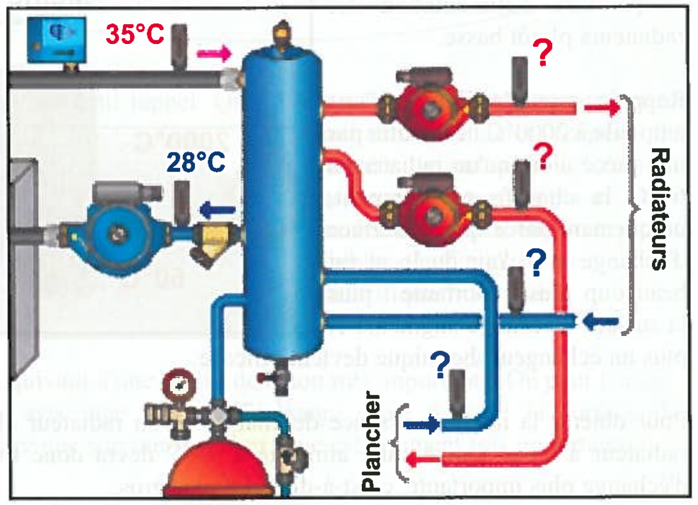
La tendance actuelle est plutôt d'avoir une faible surchauffe à l'aspiration (surtout si on utilise un détendeur électronique) afin de favoriser au maximum le remplissage de l'évaporateur. Cela permet d'augmenter la puissance frigorifique et donc la puissance de chauffe rejetée au condenseur. Le COP s'en trouve ainsi amélioré, ce qui est le but recherché.

Avec un détendeur capillaire, qui n'est qu'un simple morceau de tube très fin, il n'y a aucune possibilité de maîtriser la surchauffe, c'est-à-dire le remplissage de l'évaporateur.

Or, plus la surchauffe est faible (sans risque de coups de liquide) et meilleur est la puissance frigorifique et donc le COP. C'est pourquoi ces machines sont équipées soit d'un détendeur électronique (comme dans notre exemple), soit d'un détendeur thermostatique dont nous allons parler très bientôt (*page 573*).

Pour revenir à notre exercice, avec une température d'évaporation de -3°C et un détendeur électronique, on peut considérer que le tube d'aspiration est à environ **0** ou **1°C** (ce qui représente une surchauffe de **3** ou **4°C**).

EXERCICE 6



Après avoir examiné en détails dans l'exercice précédent le fonctionnement frigorifique de la PAC et le fonctionnement hydraulique du circuit primaire, intéressons-nous maintenant au circuit secondaire.

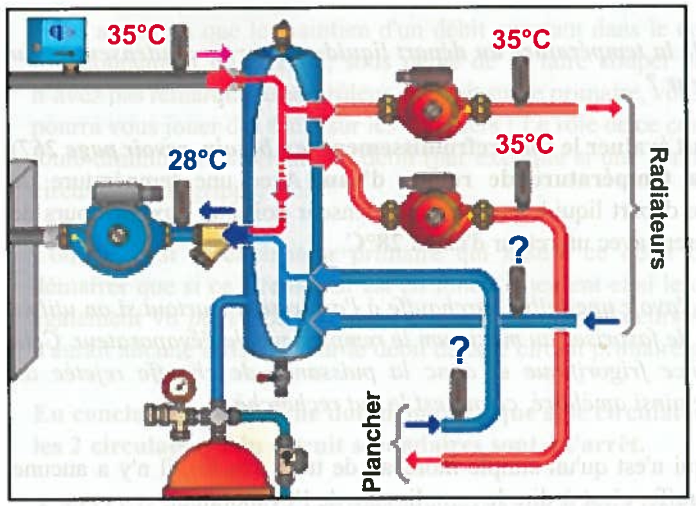
1. A quelle valeur évaluez-vous la température de départ vers les radiateurs et vers le plancher ? Qu'en pensez-vous ?

2. A quelles valeurs évaluez-vous la température de retour de chacun de ces 2 circuits ?

Correction pages suivantes...

CORRECTION DE L'EXERCICE 6

1. Température de départ vers les radiateurs et vers le plancher ?



Nous avons vu qu'afin que les circuits secondaires soient alimentés à la même température que celle du circuit primaire, il est impératif que le débit d'eau du primaire soit légèrement supérieur (de 5 à 10%) à la somme des débits du secondaire.

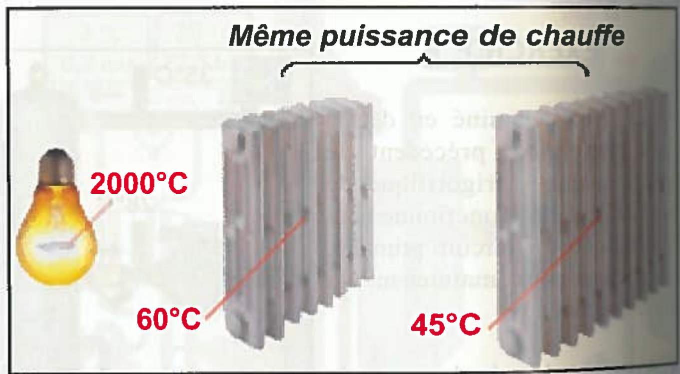
Cette condition étant respectée, on aura sur chaque départ du secondaire exactement la même température que l'arrivée du primaire, c'est-à-dire 35°C dans notre exemple.

2. A quelles valeurs évaluez-vous la température de retour de chacun de ces 2 circuits ?

Nous avons vu *page 536* que la température de l'eau qui alimente un plancher chauffant ne doit pas dépasser 50°C et que 45°C est un maximum recommandé.

Les radiateurs de notre villa étant alimentés avec de l'eau à la même température que celle du plancher (donc au maximum à 45°C), ils devront être sélectionnés pour fournir leur pleine puissance à cette température.

Ne soyez pas étonné par cette température d'alimentation des radiateurs plutôt basse.



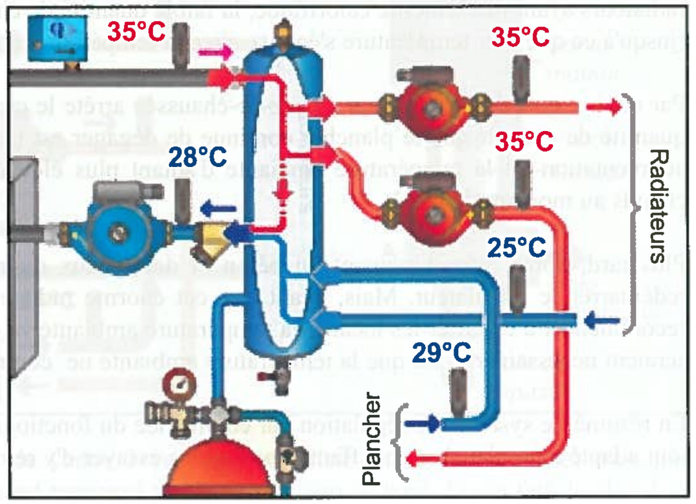
Rappelez-vous, le filament d'une ampoule à 2000°C ne chauffe pas une pièce alors qu'un radiateur à 60°C la chauffe parfaitement, uniquement parce que sa surface d'échange avec l'air du local est beaucoup plus importante : plus la surface d'échange augmente et plus un échangeur thermique devient efficace.

Pour obtenir la même puissance de chauffe qu'un radiateur alimenté avec de l'eau à 60°C, un radiateur à basse température alimenté à 45°C devra donc tout simplement avoir une surface d'échange plus importante, c'est-à-dire être plus gros.

Le Delta T entre le départ et le retour de nos radiateurs à basse température devrait être d'environ 7 à 15°C, selon la température des locaux et la température de départ de l'eau.

En considérant un Delta T d'une dizaine de °C, on peut donc évaluer la température de retour des radiateurs à environ 35 - 10 = 25°C.

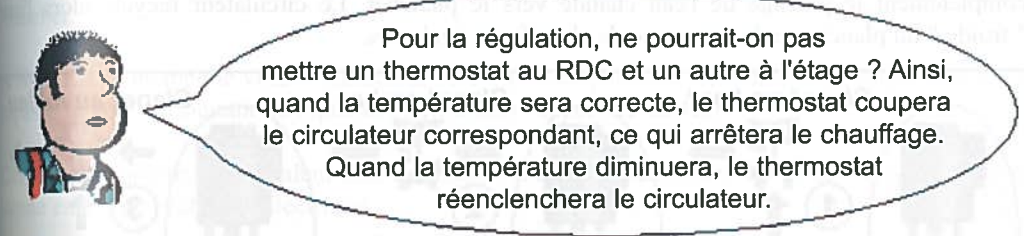
Nous avons déjà vu que sur le plancher chauffant, le Delta T entre le départ et le retour doit être d'environ 5 à 7°C, selon la température des locaux et la température de départ.



En admettant un Delta T proche de 6°C, on peut donc évaluer la température de retour plancher à environ 35 - 6 = 29°C

Dans la bouteille, l'eau à 25°C de retour des radiateurs se mélange avec l'eau à 29°C de retour du plancher et avec le petit débit à 35°C arrivant du haut de la bouteille.

La température du mélange dépend alors bien sûr des débits respectifs mais dans notre exemple, une température de retour à la PAC d'environ **28°C** est cohérente (*il serait bien sûr impossible d'obtenir une température inférieure à 25°C ou supérieure à 35°C*).



Avant de répondre à Alexis, faisons un petit rappel. Quand le circulateur qui alimente un petit radiateur en acier (**repère 1**) s'arrête, le radiateur se refroidit assez rapidement, car sa masse et sa contenance en eau sont plutôt faibles. On dit qu'il a une " inertie calorifique " très faible.



A l'inverse, un plancher chauffant équivaut à une masse de béton très importante. On peut l'imaginer comme un énorme radiateur avec une surface d'échange égale à toute la surface du rez-de-chaussée (**repère 2**). C'est dire que son inertie calorifique est vraiment très importante !

Imaginons, comme le propose Alexis, que ces 2 systèmes soient régulés de la même façon par un thermostat d'ambiance qui arrête leur circulateur respectif.

Avant de tourner la page, que pensez-vous du fonctionnement qu'on obtiendrait ?

Pour les radiateurs en acier, le système de régulation très simple assuré par un thermostat d'ambiance qui arrête le circulateur peut donner satisfaction. En effet, quand la température dans les chambres de l'étage atteint la consigne du thermostat, celui-ci arrête le circulateur. Les radiateurs ayant peu d'inertie calorifique, la faible quantité de chaleur qu'ils continuent de dégager (jusqu'à ce que leur température s'égalise avec la température ambiante) est insignifiante.

Par contre, quand le thermostat du rez-de-chaussée arrête le circulateur du plancher chauffant, la quantité de chaleur que le plancher continue de dégager est très importante, ce qui entraîne une augmentation de la température ambiante d'autant plus élevée que l'eau et le plancher étaient chauds au moment de l'arrêt.

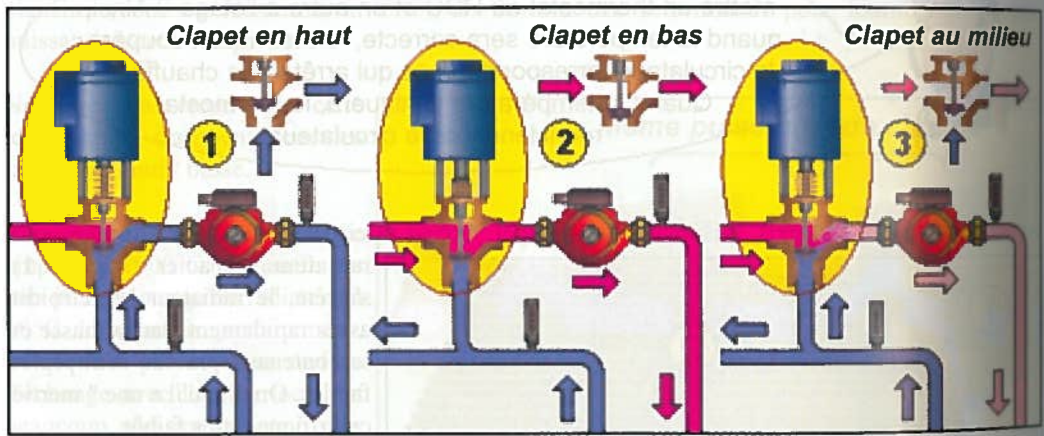
Plus tard, après refroidissement du béton et des locaux du rez-de-chaussée, le thermostat va redémarrer le circulateur. Mais, avant que cet énorme radiateur en béton se réchauffe afin de recommencer à chauffer les locaux, la température ambiante va encore diminuer (plusieurs heures seraient nécessaires avant que la température ambiante ne commence à augmenter).

En résumé, le système de régulation par commande du fonctionnement du circulateur n'est pas du tout adapté à un plancher chauffant. Nous allons essayer d'y remédier.

Nous avons déjà utilisé une vanne 3 voies diviseuses *page 475* à propos des chaudières murales. Pour notre problème, nous allons maintenant avoir besoin d'une vanne 3 voies mélangeuse. Maintenant, observons le montage ci-dessous (pour simplifier au maximum, fiez-vous au code couleur ci-contre).

Froid
Chaud
Tiède

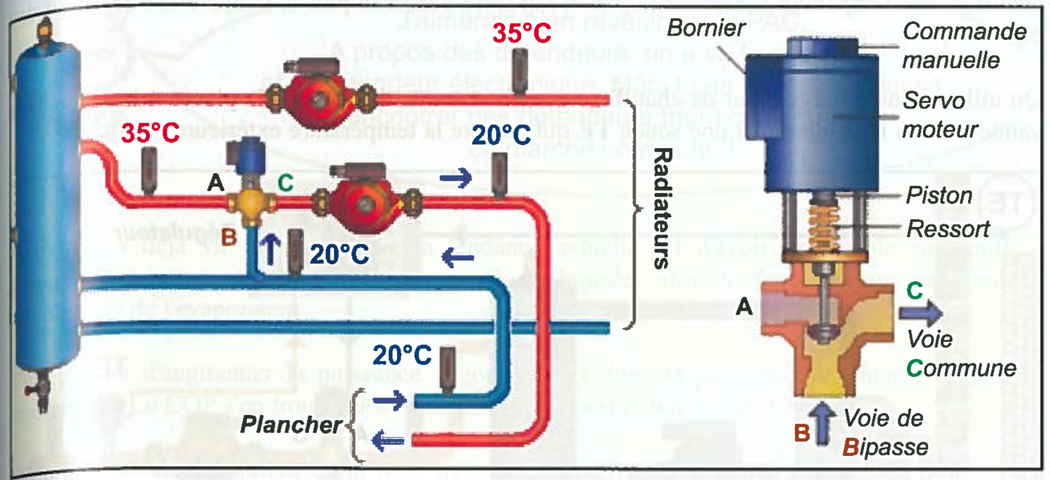
S'il n'y a pas de demande de chaud, le clapet est en position haute (**repère 1**) ce qui ferme complètement le passage de l'eau chaude vers le plancher. Le circulateur recycle alors l'eau " froide " du plancher et la puissance de chauffe est égale 0%.



S'il 'y a une grosse demande de chaud, le clapet est en position basse (**repère 2**), ce qui ouvre complètement le passage de l'eau chaude vers le plancher qui est alors alimenté avec de l'eau par exemple à 45°C et la puissance de chauffe est égale à 100%.

Quand la demande de chaud devient moins importante, le clapet est en position intermédiaire (**repère 3**). L'eau chaude est alors mélangée dans la vanne avec de l'eau plus froide revenant du plancher, ce qui donne de l'eau tiède dont la température dépend de la position du clapet. La puissance de chauffe est alors comprise entre 0 et 100% (le clapet pouvant occuper n'importe quelle position intermédiaire) : c'est exactement ce que nous recherchons...

On obtient donc le circuit plancher ci-dessous :



Si le servomoteur de ce modèle de vanne 3 voies (il en existe une grande variété) n'est pas alimenté électriquement, le piston est repoussé par le ressort vers le haut. De ce fait, le clapet se trouve dans la position montrée sur la vue ci-dessus, ce qui ferme complètement la voie **A** et ouvre à fond la voie **B**.

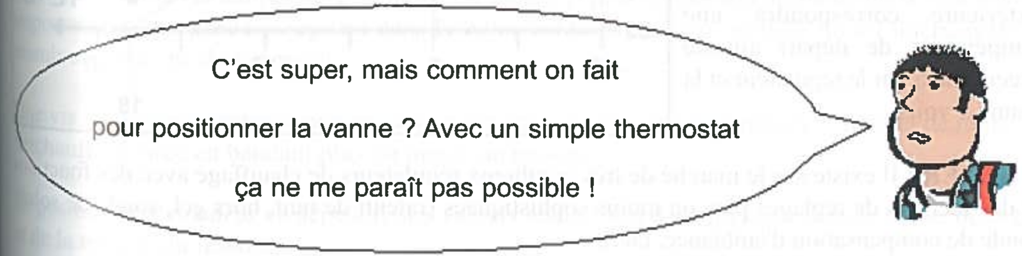
Comme le circulateur se trouve sur la voie **C**, le débit s'établit entre les voies **B** et **C** (on dit que la vanne est en bipasse). A ce moment, le plancher ne reçoit plus du tout de chaleur du condenseur. La température de l'eau brassée par le circulateur va donc s'égaliser avec la température du plancher.

A NOTER : On appelle voie commune la voie traversée par l'eau résultant du mélange, et voie de bipasse la voie permettant de bipasser (d'éliminer) l'apport de chaleur.

Certains servomoteurs possèdent une commande manuelle permettant de forcer l'ouverture de la vanne en cas de problème électrique.

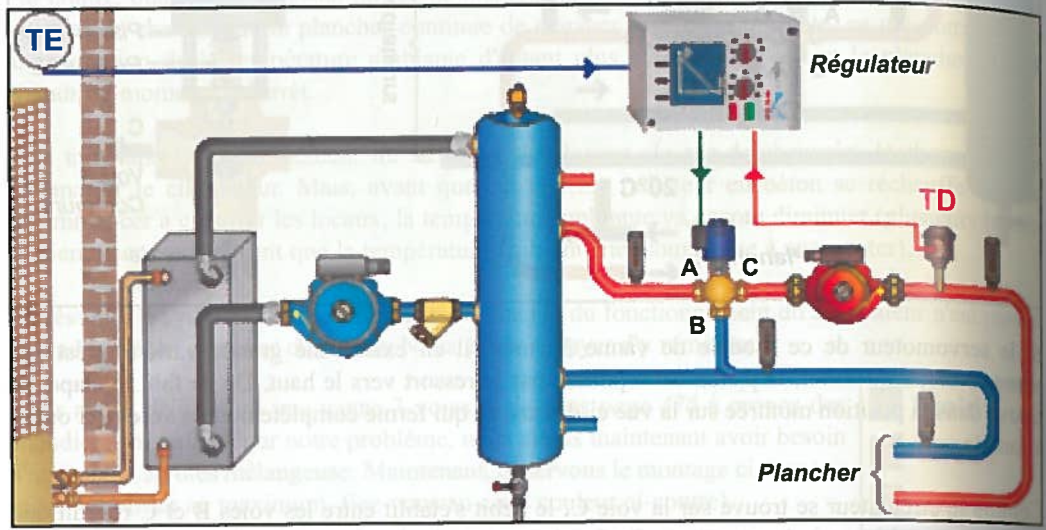
Ces servomoteurs sont entièrement progressifs, c'est-à-dire que le clapet peut occuper n'importe quelle position. Par exemple, avec de l'eau à 35°C dans la bouteille casse-pression, la température de l'eau envoyée dans le plancher chauffant peut être réglée par la régulation entre 35°C (vanne fermée sur le bipasse) et 20°C (vanne fermée sur la voie **A**, comme dans le cas ci-dessus).

Ces vannes ne s'installent pas n'importe comment. Aussi, afin d'éviter de très gros ennuis, il est impératif de respecter scrupuleusement les recommandations de montage du fabricant.



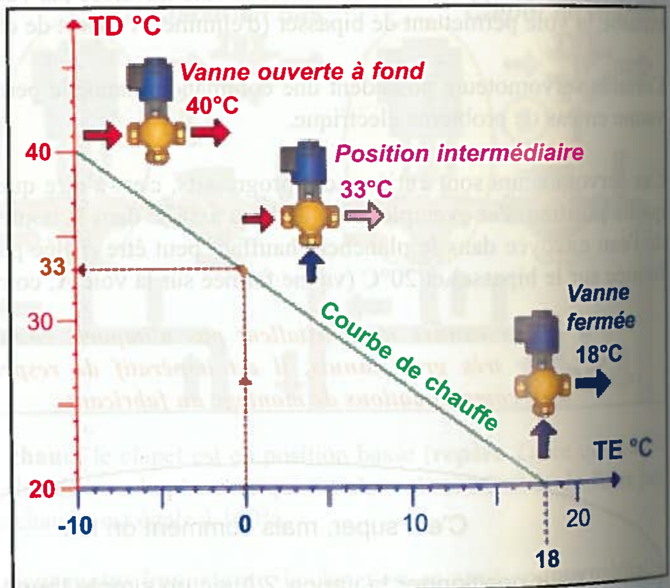
Alexis a raison. Le principe de cette régulation est d'adapter l'apport de chaleur dans le plancher chauffant à la température extérieure : plus il fait froid dehors et plus la température de départ doit être élevée.

On utilise donc un régulateur de chauffage avec une sonde de départ **TD** placée à la sortie de la vanne 3 voies mélangeuse et une sonde **TE** qui mesure la température extérieure.



Muni de ces 2 informations, le régulateur positionne la vanne 3 voies afin d'obtenir une température de départ vers le plancher **TD** qui dépend de la température extérieure **TE** et de la courbe de chauffe (appelée aussi pente de régulation) réglée sur l'appareil.

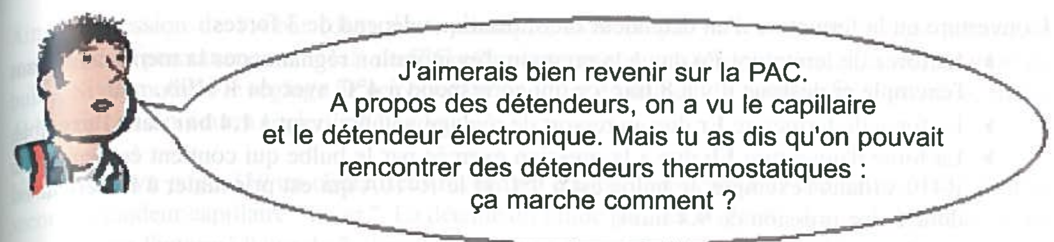
Par exemple, **la courbe de chauffe** représentée ci-contre demande au régulateur de régler la température de départ **TD** à **40°C** par **-10°C** extérieur et à **20°C** par **18°C** extérieur.



Avec ce réglage, on voit que pour une température extérieure par exemple de **0°C** la température de départ sera réglée à **33°C** par le régulateur.

Ainsi, à chaque température extérieure correspondra une température de départ ajustée précisément par le régulateur et la vanne 3 voies.

A NOTER : Il existe sur le marché de très nombreux régulateurs de chauffage avec des fonctions et des facilités de réglages plus ou moins sophistiquées (ralenti de nuit, hors gel, sonde de soleil, sonde de compensation d'ambiance, etc.).

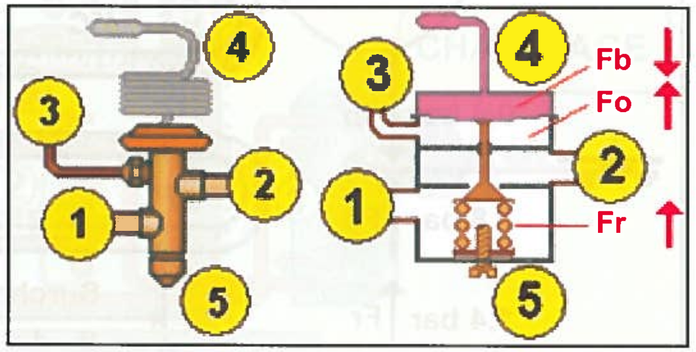


Nous avons déjà vu *page 567* que la tendance actuelle est d'avoir une faible surchauffe à l'aspiration (sans toutefois risquer de coups de liquide) afin de favoriser au maximum le remplissage de l'évaporateur.

Cela permet d'augmenter la puissance frigorifique et donc la puissance de chauffe rejetée au condenseur. Le COP s'en trouve ainsi amélioré, ce qui est le but recherché.

Avec un détendeur capillaire, qui n'est qu'un simple morceau de tube très fin, il n'y a aucune possibilité de maîtriser la surchauffe. C'est pourquoi les machines actuelles sont équipées soit avec un détendeur électronique (comme dans notre exemple), soit avec un détendeur thermostatique.

Un tel détendeur ainsi qu'un schéma de principe de l'appareil est représenté ci-contre.



Le liquide HP sous refroidi qui arrive du condenseur pénètre dans le détendeur (**voir les deux repères 1**) et c'est un mélange de liquide et de vapeurs (*au besoin, revoir la page 158*) détendu en BP qui en ressort (**repères 2**).

Un tube 1/4" (**repères 3**) permet d'amener la BP à l'intérieur de l'appareil. Ce tube, appelé égalisation externe, est généralement piqué à la sortie de l'évaporateur, ce qui permet au détendeur d'être complètement indépendant des pertes de charge provoquées par le passage du liquide dans les tubes de l'évaporateur.

Un presse étoupe, dans lequel coulisse la tige de commande du clapet assure une séparation étanche entre la sortie du détendeur (**repères 2**) et le dessous de la membrane.

Un bulbe (**repères 4**) permet de mesurer la température des vapeurs surchauffées à la sortie de l'évaporateur. Ce bulbe contient souvent le même fluide frigorigène que celui utilisé dans l'installation. Plus la température du bulbe est élevée et plus la pression du fluide qu'il contient est importante. Cette pression régnant dans le bulbe est transmise par un tube fin à l'intérieur de la membrane étanche de l'appareil.

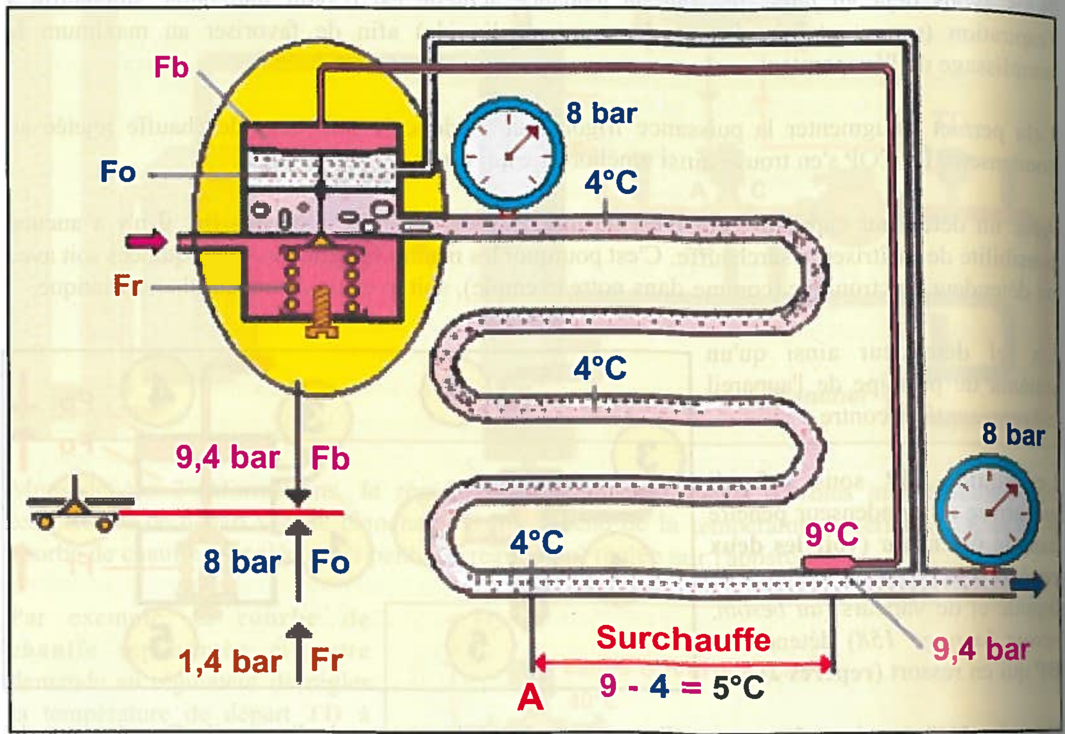
Une vis de réglage, protégée par un capuchon pour éviter les fuites (**repères 5**) permet de régler la surchauffe désirée en bandant plus ou moins un ressort.

La position du détendeur va dépendre des valeurs respectives de la pression dans le bulbe, de la BP et de la tension du ressort...

L'ouverture ou la fermeture d'un détendeur thermostatique dépend de 3 forces :

- La force de fermeture **Fo** due à la pression d'évaporation régnant sous la membrane. Dans l'exemple ci-dessous il y a **8 bar**, ce qui correspond à **4°C** avec du R410A.
- La force de fermeture **Fr** due au ressort de réglage, qui équivaut à **1,4 bar** dans l'exemple.
- La force d'ouverture **Fb** due à la pression exercée par le bulbe qui contient également du R410A (dans l'exemple, le bulbe est à **9°C** et le R410A qui est prisonnier à l'intérieur est donc à une pression de **9,4 bar**).

Le détendeur est en équilibre lorsque Fb est égale à Fo + Fr.



Dans l'exemple ci-dessus, admettons pour simplifier que l'évaporateur ne présente aucune perte de charge : il y a 8 bar (soit 4°C) à l'entrée et donc 8 bar à sa sortie. La dernière gouttelette de liquide se vaporise au point **A** à 4°C puis les vapeurs se surchauffent jusqu'à 9°C. La surchauffe maintenue par le détendeur est donc égale à **9 - 4** = 5°C.

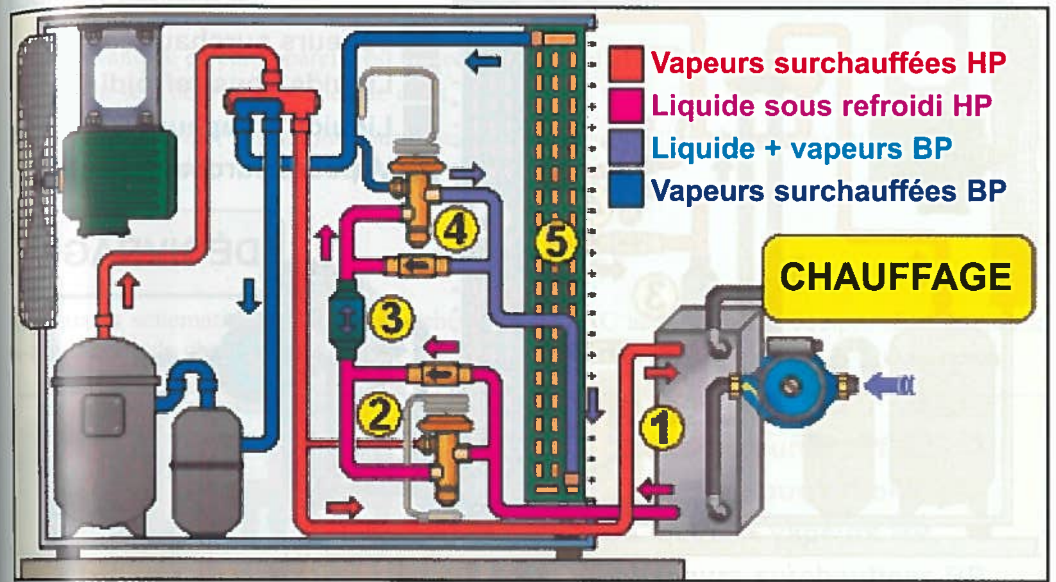
- Si la surchauffe à tendance à augmenter, la température du bulbe va augmenter et la pression transmise à la membrane va également augmenter. **Fb** devenant supérieure à **Fo + Fr**, le clapet est poussé vers le bas et le détendeur ouvre, ce qui a pour conséquence d'augmenter la quantité de liquide qui pénètre dans l'évaporateur et donc de faire avancer le point **A** vers la droite. Le point **A** se rapprochant du bulbe, la surchauffe cesse d'augmenter et elle va au contraire diminuer jusqu'à récupérer le point d'équilibre du détendeur **Fb** = **Fo** + **Fr**.

- Si la surchauffe à tendance à diminuer, la température du bulbe va diminuer de même que la pression transmise à la membrane. **Fb** devenant inférieure à **Fo + Fr**, le clapet est poussé vers le haut et le détendeur ferme. La quantité de liquide qui pénètre dans l'évaporateur diminue et le point **A** recule vers la gauche ce qui l'éloigne du bulbe et provoque une augmentation de la surchauffe jusqu'au point d'équilibre du **Fb** = **Fo** + **Fr**.

Ainsi la pression de 1,4 bar (dans notre exemple) exercée par le ressort de réglage permet de maintenir en permanence un écart de **5°C** entre la température d'évaporation et la température du bulbe. Si on modifie le réglage de ce ressort on modifie également la surchauffe. C'est ainsi, en cas de besoin, qu'on pourra régler le détendeur.

Nous avons vu *page 350* un climatiseur réversible équipé d'un détendeur capillaire " été " et d'un second détendeur capillaire " hiver ". La détente du fluide par l'un ou l'autre de ces 2 capillaires étant autorisée par l'intermédiaire de 2 clapets de retenue. De même, lorsqu'une PAC aérothermique est équipée de détendeurs thermostatiques, il en faut deux : l'un servant en mode " chauffage " et le second en mode " dégivrage ".

Examinons le schéma de principe d'une telle PAC dans chacun de ces 2 régimes de fonctionnement.



En mode chauffage, les vapeurs surchauffées du refoulement sont dirigées par la vanne 4 voies vers l'échangeur à plaques **(repère 1)**. **Le liquide sous refroidi** qui sort par le bas de l'échangeur passe alors par le clapet de retenue **(repère 2)** puis par le déshydrateur bi-directionnel **(repère 3)**.

Le liquide arrive alors à l'entrée du détendeur **(repère 4)**. Notez qu'il ne peut pas traverser le clapet de retenue monté en bipasse sur ce détendeur. Selon la température de son bulbe, la pression du ressort de réglage et la pression à la sortie de l'évaporateur **(repère 5)**, le détendeur **4** maintient la surchauffe des vapeurs qui sortent de l'évaporateur et arrivent sur la vanne 4 voies.

Ces vapeurs surchauffées sont ensuite dirigées par la vanne 4 voies vers la bouteille anti coups de liquide puis vers l'aspiration du compresseur.

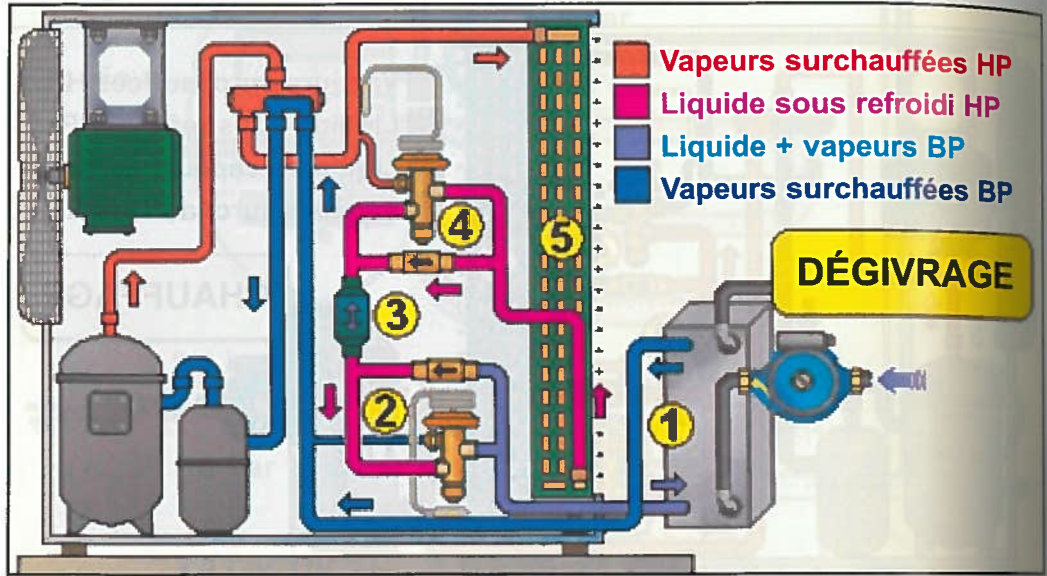
Nous avons vu *page 545* qu'avec ces machines le Delta T total à l'évaporateur est très voisin d'une dizaine de °C. Lorsque la température extérieure sera proche de 7°C, on peut évaluer la température d'évaporation à environ -3°C, ce qui correspond à une pression de l'ordre de 6,2 bar avec le R410A.

La température des ailettes frôle alors 0°C et du givre peut commencer à apparaître, d'autant plus que l'humidité extérieure est élevée....

Nous savons maintenant que le givre est un isolant thermique qui réduit fortement l'échange de chaleur entre le fluide frigorigène et l'air avec pour conséquence une diminution de la BP qui va encore accentuer le givrage.

Il faut donc éliminer périodiquement ce givre afin d'éviter que l'évaporateur ne prenne complètement en glace. Le temps nécessaire au dégivrage doit être court, car l'élimination du givre consomme de l'énergie et refroidit le circuit de chauffage.

C'est pourquoi, en mode dégivrage, le ventilateur extérieur doit rester à l'arrêt. Il ne faudrait surtout pas ventiler la batterie extérieure avec de l'air froid pendant que les gaz chauds du compresseur passent dans cette batterie pour faire fondre le givre !

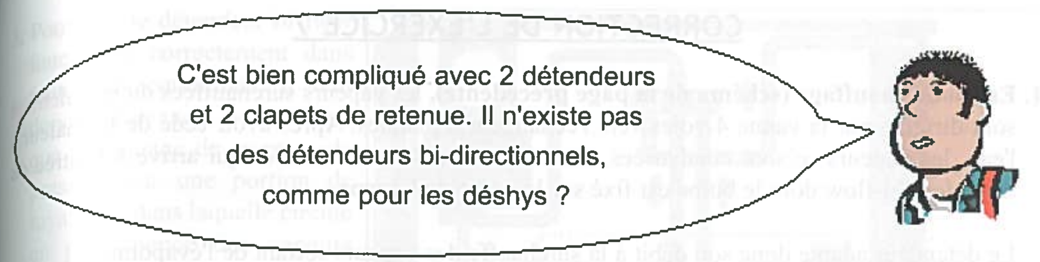


En mode dégivrage, les vapeurs HP du refoulement à haute température (de l'ordre de 70 à 90°C) sont maintenant dirigées par la vanne 4 voies vers l'évaporateur givré (**repère 5**). Cet afflux de chaleur provoque la fonte du givre directement en contact avec les ailettes. S'il y a une grosse épaisseur de givre, des morceaux entiers de glace se décrochent des ailettes et tombent dans le bac de récupération des condensats. Cette technique permet un dégivrage des ailettes très rapide (de l'ordre de 2 mn sur les machines modernes).

Le liquide sous refroidi qui sort par le bas de l'évaporateur passe alors par le clapet de retenue (**repère 4**) puis par le déshydrateur bi-directionnel (**repère 3**). Le liquide arrive ensuite à l'entrée du détendeur (**repère 2**). Notez qu'il ne peut pas traverser le clapet de retenue monté en bipasse sur ce détendeur.

Selon la température de son bulbe, la pression du ressort de réglage et la pression à la sortie de l'échangeur à plaque (**repère 1**) qui sert alors d'évaporateur, le détendeur **2** maintient la surchauffe des vapeurs qui arrivent sur la vanne 4 voies. **Ces vapeurs surchauffées** sont ensuite dirigées par la vanne 4 voies vers la bouteille anti coups de liquide puis vers l'aspiration du compresseur.

Ne perdez pas de vue que pendant le dégivrage la PAC ne réchauffe plus du tout l'eau du circuit de chauffage mais qu'au contraire, elle la refroidit !



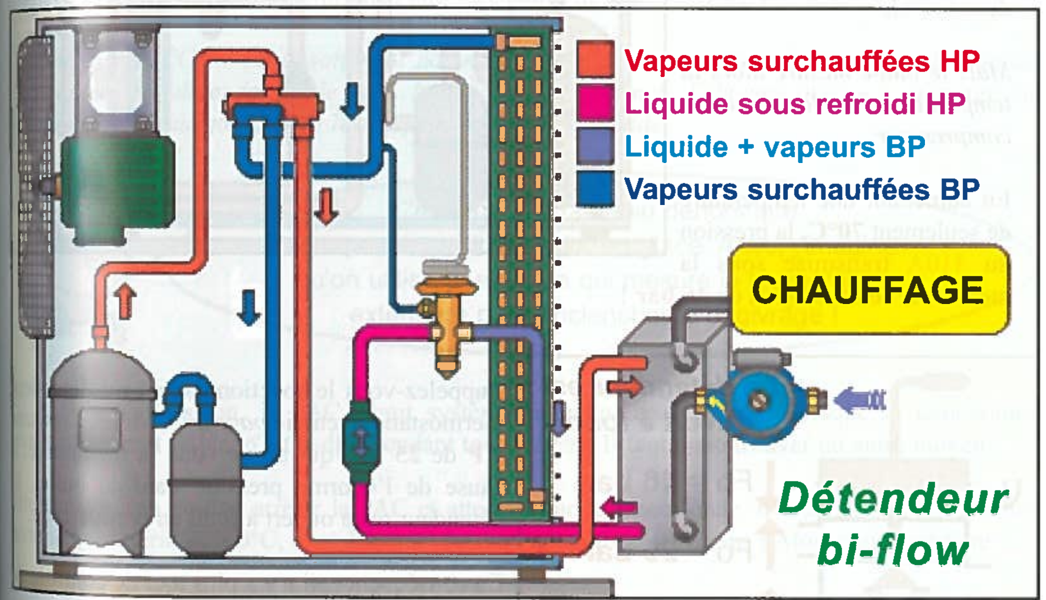
Alexis a raison de se poser la question. Il existe en effet des détendeurs bi-directionnels, souvent appelés " bi-flow ", spécialement conçus pour les pompes à chaleur (notez qu'ils sont de moins en moins utilisés car le succès des appareils réversibles de type Inverter favorise plutôt l'utilisation de détendeurs électroniques).

Le gros avantage de ces appareils est toutefois la simplification du circuit frigorifique :

- Un seul détendeur au lieu de deux.
- Aucun clapet anti retour pour bipasser les détendeurs lors du passage du mode chauffage au mode dégivrage et vice versa.

EXERCICE 7

Nous avons schématisé ci-dessous le schéma d'une PAC aérothermique équipée d'un détendeur bi-flow, en mode chauffage.



1. Votre mission consiste, *si vous l'acceptez*, à comprendre le fonctionnement de cette machine en mode chauffage, ce qui ne devrait pas présenter de difficulté.
2. Que pensez-du fonctionnement que l'on va obtenir en mode dégivrage ?
3. Voyez-vous des améliorations à ce montage ?

Correction pages suivantes...

CORRECTION DE L'EXERCICE 7

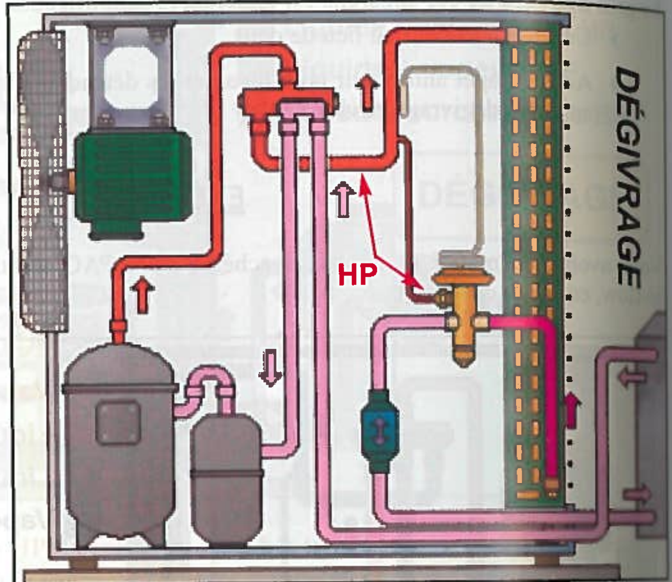
1. En mode chauffage (schéma de la page précédente), les vapeurs surchauffées du refoulement sont dirigées par la vanne 4 voies vers l'échangeur à plaques. Après avoir cédé de la chaleur à l'eau, les vapeurs se sont condensées et c'est du liquide sous refroidi qui arrive à l'entrée du détendeur bi-flow dont le bulbe est fixé sur la sortie de l'évapo.

Le détendeur adapte donc son débit à la surchauffe des vapeurs sortant de l'évaporateur :

- Si la surchauffe augmente, le détendeur ouvre,
- Si la surchauffe diminue, le détendeur ferme.

Les vapeurs surchauffées sont ensuite dirigées par la vanne 4 voies vers la bouteille anti coups de liquide puis vers l'aspiration du compresseur.

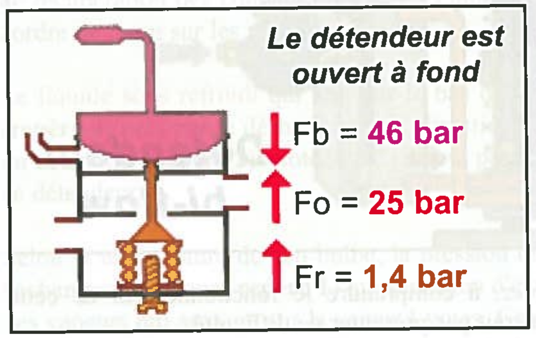
2. En mode dégivrage (schéma ci-contre le tiroir de la Vanne 4 voies bascule vers la droite.



A ce moment, c'est la **HP** qui arrive sous la membrane du détendeur (par exemple, si la condensation se fait à une quarantaine de °C, la pression serait de l'ordre de **25 bar** avec du R410A).

Mais le bulbe mesure alors la température de refoulement du compresseur.

En admettant une température de seulement **70°C**, la pression du 410A transmise sous la membrane serait de plus de **46 bar** !

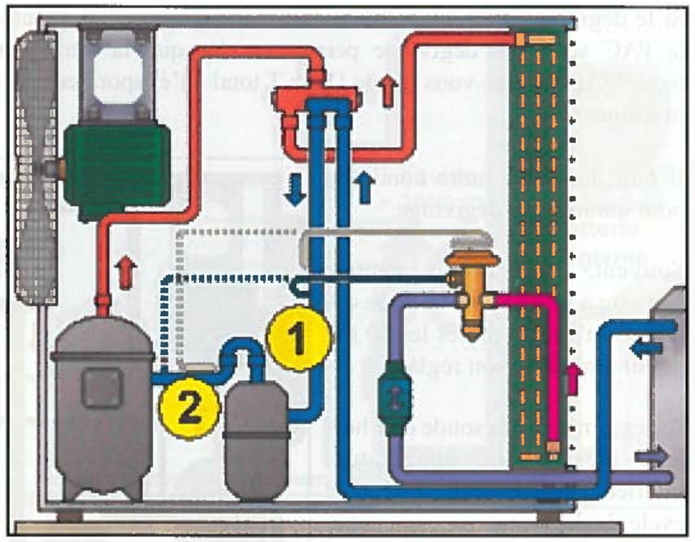


Rappelez-vous le fonctionnement du détendeur thermostatique étudié *page 574*. Même avec une **HP** de **25 bar** qui arrive sous la membrane, à cause de l'énorme pression dans le bulbe, le détendeur reste ouvert à fond en permanence.

En conséquence, il n'y a plus tout de contrôle de la surchauffe et du liquide revient en grosse quantité vers le compresseur.

Il n'y a plus qu'à espérer que la bouteille liquide soit très largement surdimensionnée sinon ces énormes coups de liquide vont provoquer à coup sûr la casse du compresseur !

3. Pour que le détendeur bi flow fonctionne correctement dans toutes les conditions, il faut donc placer son bulbe ainsi que le piquage de sa prise de pression sur une portion de tuyauterie dans laquelle circule en permanence des vapeurs BP, que l'on soit en chauffage ou en dégivrage, par exemple à la sortie de la vanne 4 voies (**repère 1**).

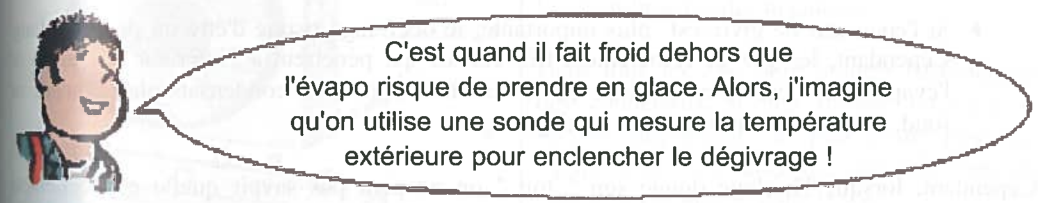


Attendu que le bulbe est alors placé à une distance plus éloignée de la sortie de l'évaporateur, il est évident que le fluide frigorigène va continuer à se surchauffer dans cette partie de tube.

Si le réglage du détendeur n'a pas été modifié, cela entraîne un remplissage légèrement plus important de l'évaporateur avec comme conséquences une surchauffe dans celui-ci plus faible, et donc un meilleur remplissage, davantage de puissance frigorifique et un meilleur COP.

A NOTER : certains constructeurs placent le bulbe du détendeur à l'aspiration du compresseur (**repère 2**). Ils annoncent obtenir ainsi une surchauffe de 2°C, voire de 1°C dans l'évaporateur.

Le gain sur le COP n'est absolument pas négligeable. Outre la bouteille anti coup de liquide, l'utilisation de détendeurs de très bonne qualité permet d'obtenir avec ce montage un fonctionnement sûr qui élimine les risques de coups de liquide.



Si Alexis avait raison, la PAC serait systématiquement en dégivrage lorsque la température extérieure serait faible, c'est-à-dire pendant tout l'hiver ! Il faut donc trouver un autre moyen.

Bien sûr, si l'on voulait arrêter la PAC et attendre que la glace fonde, il faudrait une température extérieure supérieure à 0°C, c'est dire qu'il faudrait attendre le printemps ! Alors comment faire ?

Nous savons que le givrage de l'évaporateur commence dès que la température d'évaporation devient négative (en fait, aux alentours de -3°C, ce qui abaisse la température des ailettes à environ -1°C).

Et si on contrôlait la température d'évaporation pour enclencher un dégivrage lorsqu'elle devient trop négative ?

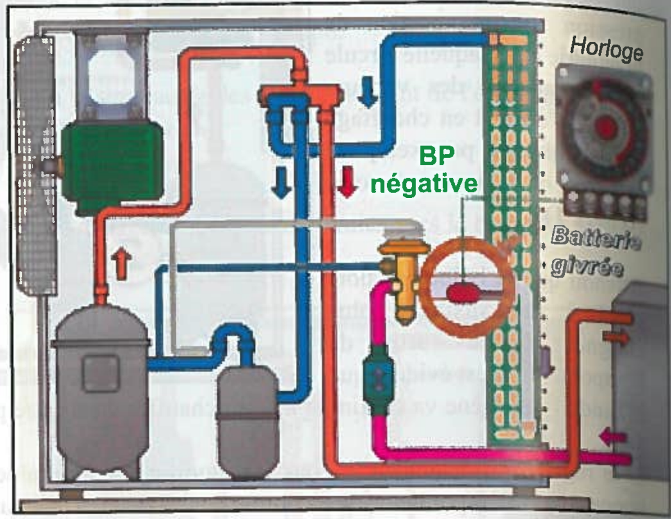
Qu'en pensez-vous ?

Si le dégivrage était uniquement enclenché quand la température d'évaporation devient négative, la PAC serait en dégivrage permanent dès que la température extérieure serait inférieure à 6 ou 7°C (rappelez-vous que le Delta T total à l'évaporateur est d'une dizaine de °C sur ce type de machines).

Il faut donc une autre condition pour autoriser le dégivrage.

Souvent, la solution retenue consiste à utiliser une horloge qui donne un " top " toutes les 30 mn ou 40 mn, selon son réglage.

A ce moment, si la sonde de l'horloge mesure une température inférieure par exemple à -5°C le cycle de dégivrage est enclenché.



La Vanne 4 voies inverse le cycle et le ventilateur de l'évaporateur s'arrête.

Le compresseur qui continue à fonctionner " pompe " de la chaleur dans le plancher chauffant pour la transférer dans l'évaporateur et 'casser' la glace.

Le circuit plancher étant refroidi pendant le dégivrage, il est très important d'avoir des durées de dégivrage les plus courts possibles.

- Si l'épaisseur du givre est faible (de l'ordre de un millimètre), le dégivrage est extrêmement rapide, généralement de l'ordre de 1 à 2 minutes.

- Si l'épaisseur de givre est plus importante, le dégivrage risque d'être un peu plus long. Cependant, les gaz de refoulement très chauds qui pénètrent à l'intérieur des tubes de l'évaporateur décrochent la glace qui tombe dans le bac des condensats plutôt qu'elle ne fond, ce qui raccourcit la durée du dégivrage.

Cependant, lorsque l'horloge donne son " top " on ne peut pas savoir quelle est réellement l'épaisseur du givre (qui dépend pour beaucoup de l'humidité extérieure).

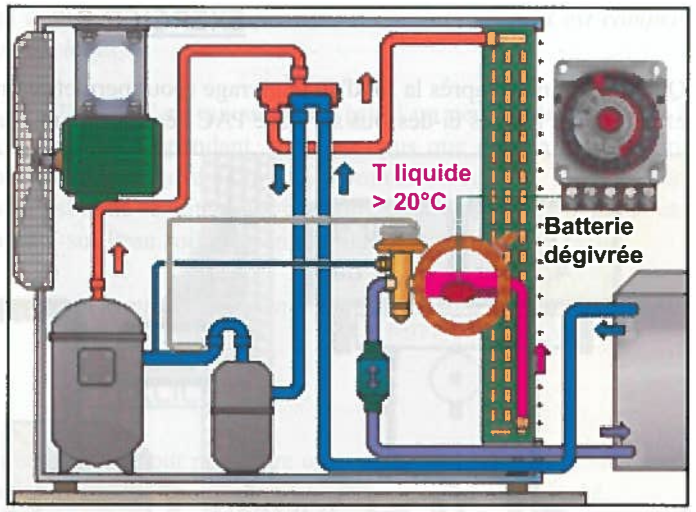
Aussi, afin d'adapter la durée du dégivrage au temps réellement nécessaire, il est donc nécessaire de trouver un dispositif permettant de l'arrêter lorsqu'il n'y a plus de givre !

On pourrait imaginer des procédés très sophistiqués pour mettre fin au dégivrage. Cependant, il en existe un très simple (voir schéma en haut de la page suivante).

Lorsque les gaz chauds arrivant du compresseur pénètrent dans la batterie extérieure, ils se condensent très fortement puisque celle-ci est gelée.

Le fluide frigorigène liquide qui sort de cette batterie est à 0°C tant qu'il y a de la glace sur la batterie puis, au fur et à mesure de la fonte du givre, la température du liquide augmente, mais c'est précisément cette température que mesure la sonde de l'horloge...

Lorsque ce liquide atteint une vingtaine de °C, on a la certitude qu'il n'y a plus de glace : le cycle de dégivrage est donc terminé.



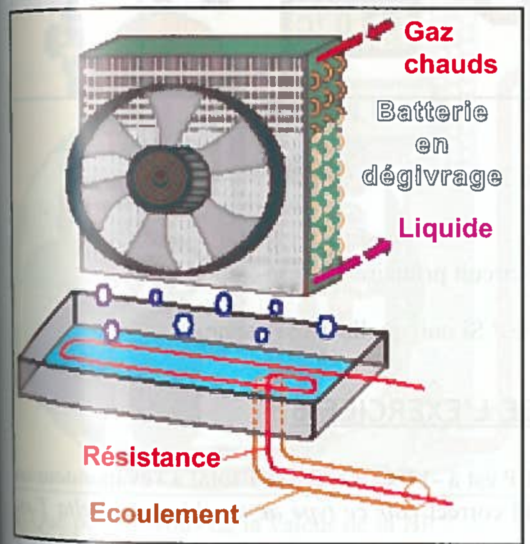
En conclusion c'est la même sonde :

- Qui enclenche le dégivrage lorsque le liquide BP pénètre dans la batterie en dessous de 0°C

- Qui met fin au dégivrage lorsque le liquide sort de la batterie réchauffé à une vingtaine de °C.

A NOTER : dans tous les cas, si la sonde n'a pas arrêté le dégivrage (après 5 mn à 10 mn selon les constructeurs) c'est l'horloge qui l'arrête. Il est en effet inutile de dépasser ce délai d'autant plus que durant le dégivrage, " on fait du froid " dans le plancher chauffant, ce qui est contraire au but recherché.

Alors, si la batterie n'est pas dégivrée, c'est qu'il y a un problème (sonde défectueuse, charge en fluide frigorigène insuffisante, panne de la vanne 4 voies ou du détendeur, etc.).



Lorsque le dégivrage fonctionne, il arrive que de la glace reste bloquée dans le bas de l'évaporateur. Ce problème du gel des condensats est bien connu des frigoristes dans les chambres froides négatives.

Dans tous les cas, pour assurer l'écoulement des condensats, il faut utiliser un tube de section importante, le plus court possible, équipé d'une résistance qui empêche l'eau de geler dans le tube et dans le bac.

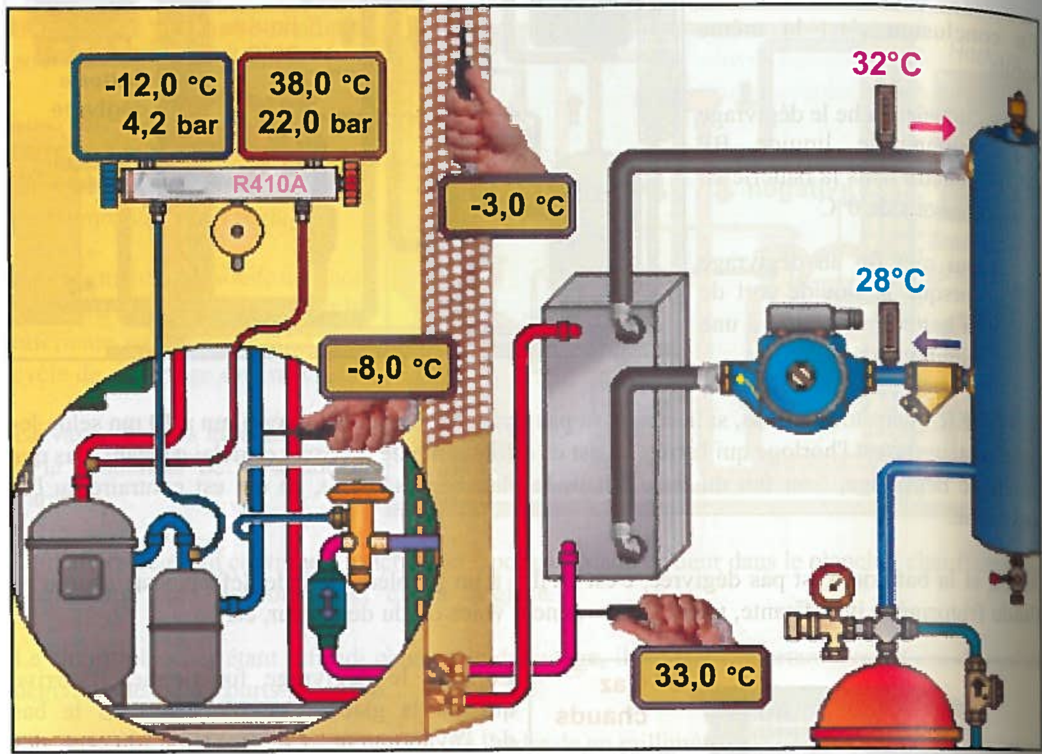
Cette résistance doit être continuellement sous tension lorsque la température extérieure est négative.

Certains constructeurs font passer le tube de fluide frigorigène liquide (donc tiède) dans le bac à condensats. Cela permet d'éviter une consommation électrique supplémentaire et d'améliorer le sous refroidissement (et donc la puissance frigorifique et le COP).

En zone froide de montagne, s'il n'y a aucun risque pour les appareils situés en dessous, il est souvent conseillé " d'éclater " les 4 bords du bac à condensats. Ainsi, il n'y aura plus de problèmes d'accumulation de glace.

EXERCICE 8

Quelques minutes après la fin d'un dégivrage (pour permettre une remise en régime normal), vous effectuez les relevés ci-dessous sur cette PAC aérothermique. La batterie n'est plus givrée.



1. Que pensez-vous de la valeur de la BP ?
2. Que pensez-vous de la valeur de la surchauffe ?
3. Que pensez-vous de la valeur de la HP ?
4. Que pensez-vous du sous refroidissement ?
5. Que pensez-vous du Delta T sur l'eau dans le circuit primaire ?

En conclusion, cette installation est-elle en panne ? Si oui, quelle est la panne ?

CORRECTION DE L'EXERCICE 8

1. Avec une température extérieure de **-3°C**, la BP est à **-12°C**. Le Delta T total à l'évaporateur est donc de **-3** - (**-12**) = **9°C**, ce qui est tout à fait correct *(sur ce type de machine, ce Delta T est généralement d'une dizaine de°C)*.

2. La surchauffe à l'évaporateur est égale à **-8** - (**-12**) = **4°C** ce qui semble également correct, le bulbe du détendeur étant placé à l'entrée de la bouteille anti coups de liquide (*au besoin, revoir page 579*).

3. Avec une température d'entrée d'eau de **28°C** dans l'échangeur à plaques la HP est à **38°C**, soit un Delta T total de **38** - **28** = **10°C**, ce qui semble parfait (*ce Delta T est généralement compris entre 10 et 12°C*).

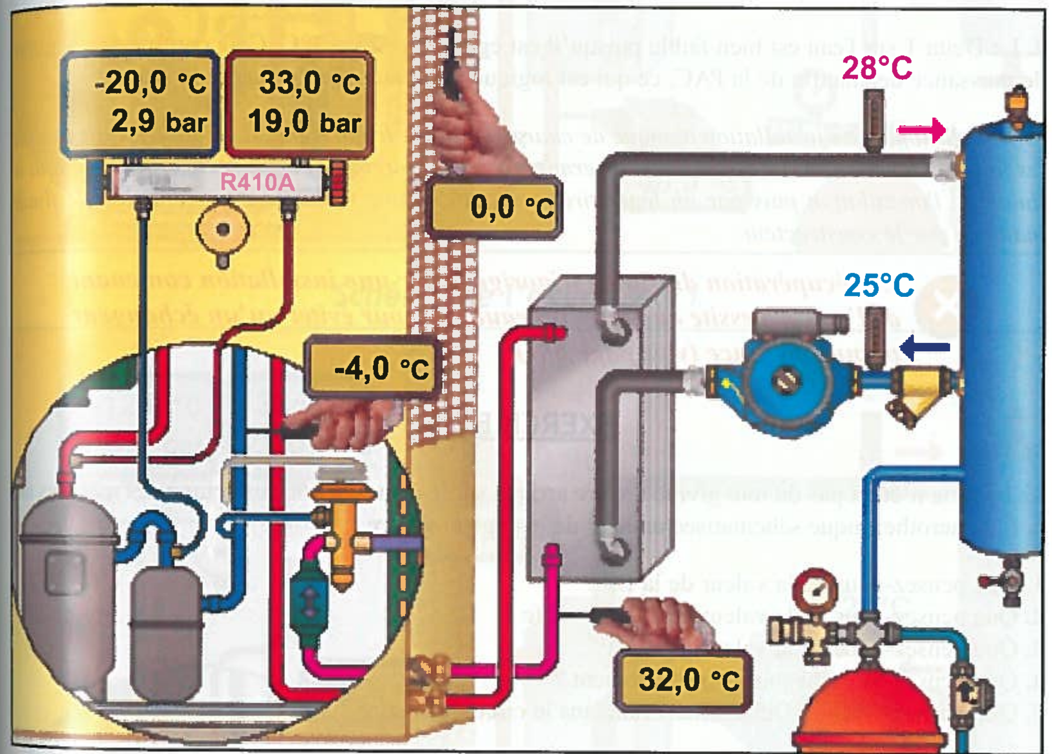
4. Le sous refroidissement est égal à **38** - **33** = **5°C**, *ce qui semble correct puisqu'il est compris entre 5 et 8°C sur la plupart des machines).*

5. Le Delta T sur l'eau est égal à **32** - **28** = **4°C** ce qui semble à priori un peu faible (*ce Delta T est généralement compris entre 5 et 8°C*). Cependant, rappelez-vous que plus la température extérieure diminue et plus la puissance de chauffe de la PAC diminue. Avec **-3°C** à l'extérieur, la puissance fournie au condenseur est donc réduite mais, attendu que le débit du circulateur est constant, il est normal que le Delta T sur l'eau soit légèrement plus faible.

En conclusion, cette installation n'a aucun symptôme de panne, elle fonctionne très correctement.

EXERCICE 9

Quelques minutes après la fin d'un dégivrage (pour permettre une remise en régime normal), vous effectuez les relevés ci-dessous sur cette PAC aérothermique. La batterie n'est plus givrée.



1. Que pensez-vous de la valeur de la BP ?
2. Que pensez-vous de la valeur de la surchauffe ?
3. Que pensez-vous de la valeur de la HP ?
4. Que pensez-vous du sous refroidissement ?
5. Que pensez-vous du Delta T sur l'eau dans le circuit primaire ?

En conclusion, cette installation est-elle en panne ? Si oui, quelle est la panne ?

Correction page suivante...

CORRECTION DE L'EXERCICE 9

1. Avec une température extérieure de **0°C**, la BP est à **-20°C**. Le Delta T total à l'évaporateur est donc égal à **0 - (-20) = 20°C** au lieu d'une dizaine de °C. *Ce Delta T énorme indique sans aucun doute une panne BP.*

2. La surchauffe à l'évaporateur est beaucoup trop importante puisqu'elle est égale à -4 - (-20) = **16°C**. *Il est évident qu'il n'y a pas assez de liquide dans l'évaporateur.*

3. Avec une température d'entrée d'eau de 25°C dans l'échangeur à plaques la HP est à 33°C, soit un Delta T total de 33 - 25 = **8°C**. *Ce Delta T est généralement compris entre 10 et 12°C*, il est donc un peu faible, ce qui n'est pas étonnant en cas panne BP.

4. Le sous refroidissement est anormalement faible puisqu'il est égal à 33 - 32 = **1°C**. *Il est plus qu'évident qu'il manque du liquide dans le bas du condenseur.*

Attendu qu'il manque du liquide dans l'évaporateur <u>et</u> dans le condenseur on peut diagnostiquer dès à présent un manque de charge en fluide frigorigène.

4. Le Delta T sur l'eau est bien faible puisqu'il est égal à 28 - 25 = **3°C**. Cela confirme le manque de puissance de chauffe de la PAC, ce qui est logique vu le manque de charge en fluide.

En conclusion, cette installation manque de charge en fluide frigorigène. Il va donc falloir trouver les fuites et les réparer. Le dépannage se terminera obligatoirement par la récupération de tout le fluide de l'installation puis par un léger tirage au vide et une recharge avec la masse de fluide indiquée par le constructeur.

La récupération du fluide frigorigène sur une installation contenant de l'eau nécessite quelques précautions pour éviter qu'un échangeur prenne en glace ***(voir page 681).***

EXERCICE 10

La batterie n'étant pas du tout givrée à votre arrivée sur le chantier, vous effectuez des mesures sur la PAC aérothermique schématisée en haut de la page ci-contre.

1. Que pensez-vous de la valeur de la BP ?
2. Que pensez-vous de la valeur de la surchauffe ?
3. Que pensez-vous de la valeur de la HP ?
4. Que pensez-vous du sous refroidissement ?
5. Que pensez-vous du Delta T sur l'eau dans le circuit primaire ?

En conclusion, cette installation est-elle en panne ? Si oui, quelle est la panne ?

Correction page 586...

EXERCICE 11

Essayez de répondre aux mêmes questions que dans l'exercice précédent en fonction du schéma situé en bas de la page ci-contre (les mesures ont été effectuées après un dégivrage, installation en régime, batterie non givrée).

Correction page 586...

Schéma de l'exercice 10

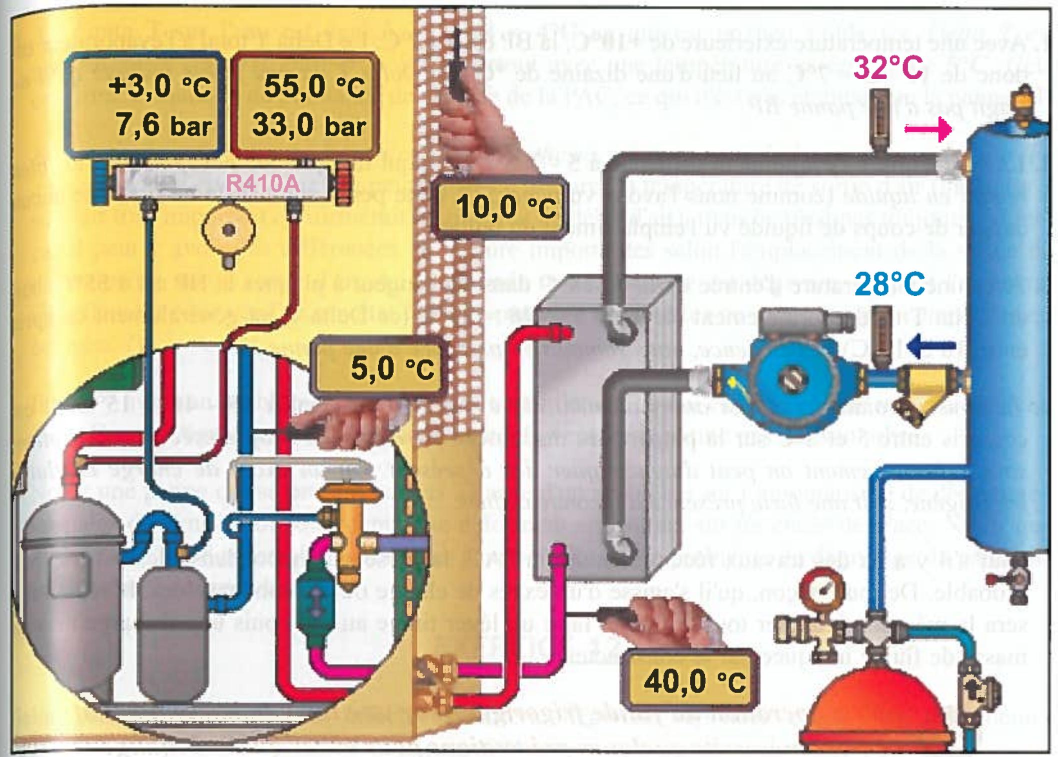
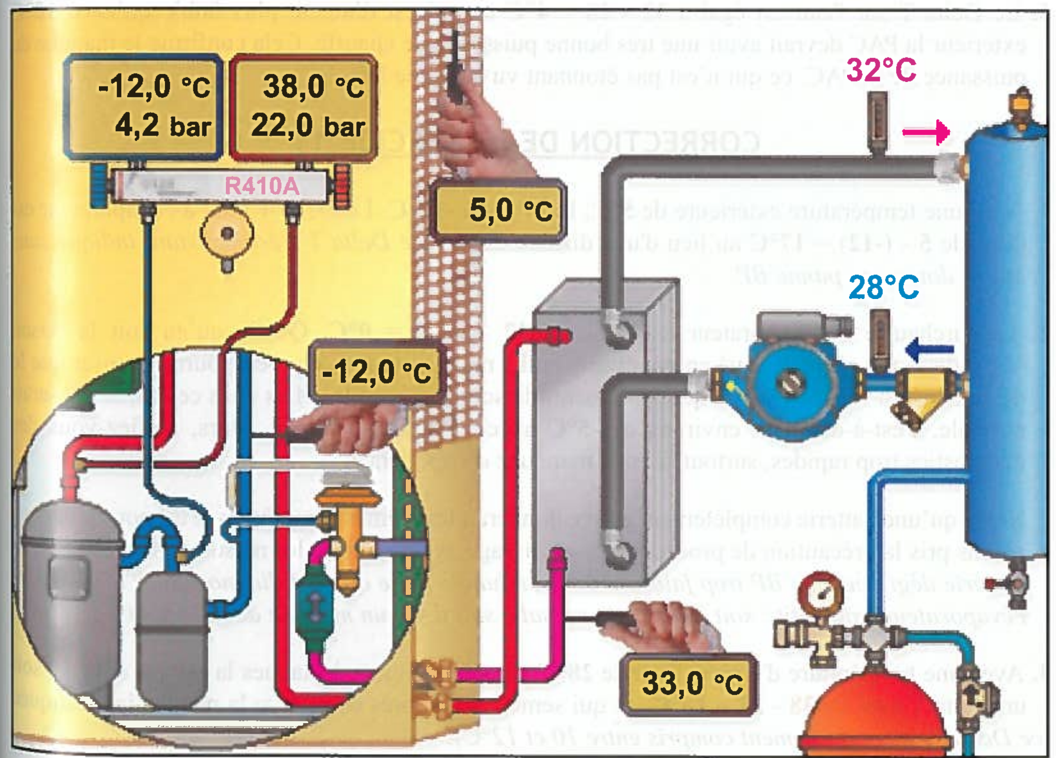


Schéma de l'exercice 11



CORRECTION DE L'EXERCICE 10

1. Avec une température extérieure de **+10°C**, la BP est à **+3°C**. Le Delta T total à l'évaporateur est donc de **10** - **3** = **7°C** au lieu d'une dizaine de °C. *Ce Delta T un peu faible indique qu'il ne s'agit pas d'une panne BP.*

2. La surchauffe à l'évaporateur est égale à **5** - **3** = **2°C** ce qui indique que *l'évaporateur est bien rempli en liquide* (comme nous l'avons vu *page 579*, cette petite surchauffe ne présente aucun danger de coups de liquide vu l'emplacement du bulbe).

3. Avec une température d'entrée d'eau de **28°C** dans l'échangeur à plaques la HP est à **55°C**, soit un Delta T total anormalement élevé de **55** - **28** = **27°C** (ce Delta T est généralement compris entre 10 et 12°C). *A l'évidence, nous sommes en présence d'une panne HP.*

4. *Le sous refroidissement est anormalement élevé* puisqu'il est égal à **55** - **40** = **15°C** (il est compris entre 5 et 8°C sur la plupart des machines). *Avec une HP trop élevée et un excellent sous refroidissement on peut diagnostiquer dès à présent soit un excès de charge en fluide frigorigène, soit une forte présence d'incondensables.*

Sauf s'il y a eu des travaux récemment sur la PAC, la présence d'incondensables est très peu probable. De toute façon, qu'il s'agisse d'un excès de charge ou d'incondensables, la réparation sera la même : récupérer tout le fluide, faire un léger tirage au vide puis une recharge avec la masse de fluide indiquée par le constructeur.

La récupération du fluide frigorigène sur une installation contenant de l'eau nécessite quelques précautions pour éviter qu'un échangeur prenne en glace (voir page 681).

5. Le Delta T sur l'eau est égal à **32** - **28** = **4°C** ce qui est d'autant plus faible qu'avec **10°C** extérieur la PAC devrait avoir une très bonne puissance de chauffe. Cela confirme le manque de puissance de la PAC, ce qui n'est pas étonnant vu la panne HP.

CORRECTION DE L'EXERCICE 11

1. Avec une température extérieure de **5°C**, la BP est à **-12°C**. Le Delta T total à l'évaporateur est donc de **5** - (**-12**) = **17°C** au lieu d'une dizaine de °C. *Ce Delta T très important indique sans aucun doute une panne BP.*

2. La surchauffe à l'évaporateur est égale à **-12** - (**-12**) = **0°C**. Quelle qu'en soit la raison (détendeur mal réglé, bloqué en ouverture, bulbe mal positionné, etc.) on pourrait penser que le détendeur est trop ouvert, ce qui expliquerait la surchauffe nulle. Mais dans ce cas, la BP serait normale, c'est-à-dire aux environs de **-5°C** avec **+5°C** à l'extérieur. Alors, méfiez-vous des diagnostics trop rapides, surtout si vous manquez d'expérience!

Notez qu'une batterie complètement givrée donnerait les mêmes symptômes, c'est pourquoi nous avions pris la précaution de procéder à un dégivrage avant de faire les mesures. *Aussi, avec une batterie dégivrée, une BP trop faible et une surchauffe nulle on peut diagnostiquer la panne de l'évaporateur trop petit : soit la batterie est sale, soit il y a un manque de débit d'air.*

3. Avec une température d'entrée d'eau de **28°C** dans l'échangeur à plaques la HP est à **38°C**, soit un Delta T total de **38** - **28** = **10°C**, ce qui semble à peu près correct vu la panne diagnostiquée (*ce Delta T est généralement compris entre 10 et 12°C*).

4. Le sous refroidissement est correct puisqu'il est égal à **38** - **33** = **5°C**.

5. Le Delta T sur l'eau est égal à **32** - **28** = **4°C** ce qui est un peu faible (*ce Delta T est généralement compris entre 5 et 8°C*), surtout avec une température extérieure de **5°C**. Cela confirme le manque de puissance de chauffe de la PAC, ce qui n'est pas étonnant vu la panne BP.

En conclusion, il faut trancher entre les 2 hypothèses retenues : soit la batterie est sale, soit il y a un manque de débit d'air. On peut tenter de mesurer la température de sortie d'air (un Delta T sur l'air trop important confirmerait un manque de débit d'air), mais ce n'est pas toujours évident car il peut y avoir des différences de mesure importantes selon l'emplacement de la sonde du thermomètre sur la sortie d'air. Aussi, attendu que la batterie est dégivrée, on peut l'inspecter visuellement pour vérifier son état (est-elle propre ? Les ailettes ne sont-elles pas complètement écrasées ?).

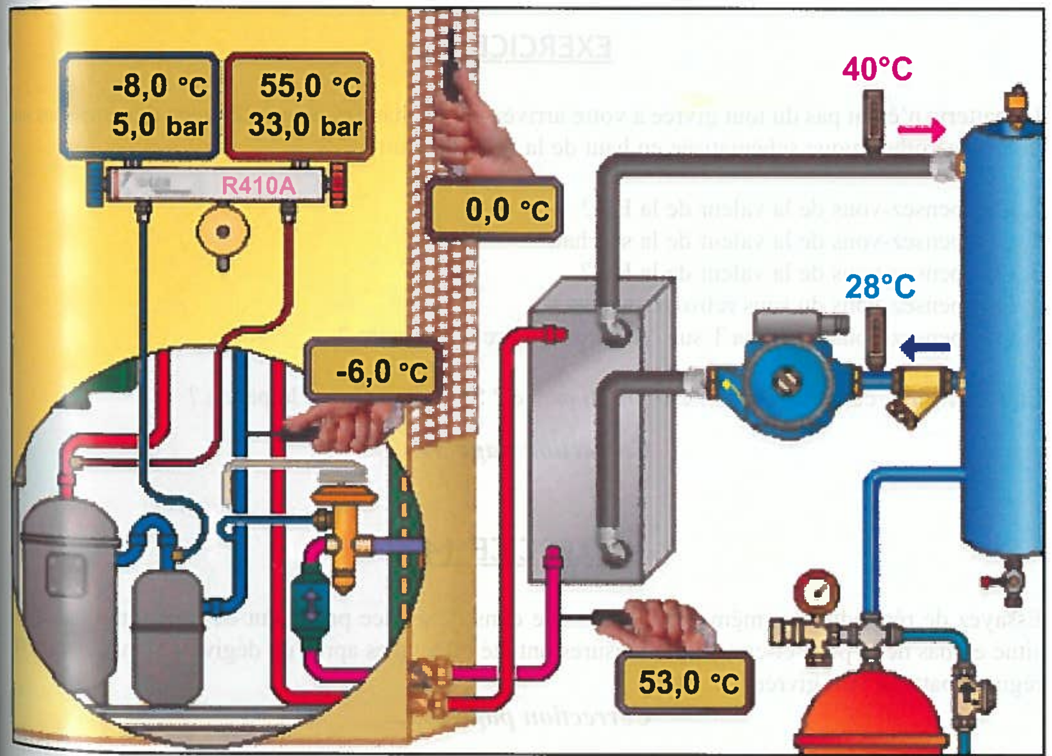
Il peut y avoir un problème électrique sur le ventilateur, ce qui expliquerait un manque de débit d'air. On peut également vérifier que l'hélice du ventilo ne patine pas sur son arbre.

Notez une panne qui se produit parfois à cause d'un problème sur l'automatisme de dégivrage : les pales du ventilateur se tordent et se déforment en frottant sur un excès de glace. Notez que dans ce cas, si vous remplacez les pales sans solutionner le problème de dégivrage, la panne ne tardera pas à se reproduire !

EXERCICE 12

Selon ces nouvelles mesures effectuées batterie dégivrée, répondez exactement aux mêmes questions que pour l'exercice 10 de la page 584.

Correction page suivante...



CORRECTION DE L'EXERCICE 12

1. Avec une température extérieure de **0°C**, la BP est à **-8°C**. Le Delta T total à l'évaporateur est donc de **0 - (-8) = 8°C** au lieu d'une dizaine de °C. Ce Delta T un peu faible indique qu'il ne s'agit pas d'une panne BP.

2. La surchauffe à l'évaporateur est égale à **-6 - (-8)= 2°C** ce qui indique que l'évaporateur est bien rempli en liquide (comme nous l'avons vu *page 579*, cette petite surchauffe ne présente aucun danger de coups de liquide vu l'emplacement du bulbe).

3. Avec une température d'entrée d'eau de **28°C** dans l'échangeur à plaques la HP est à **55°C**, soit un Delta T total au condenseur anormalement élevé de **55 - 28 = 27°C** (ce Delta T est généralement compris entre 10 et 12°C). *A l'évidence, nous sommes en présence d'une panne HP.*

4. Le sous refroidissement est anormalement faible puisqu'il est égal à **55 - 53 = 2°C** (il est compris entre 5 et 8°C sur la plupart des machines).

Avec une HP trop élevée et un très mauvais sous refroidissement on peut diagnostiquer dès à présent un condenseur trop petit : soit l'échangeur à plaques est encrassé, soit il y a un manque de débit d'eau.

5. Le Delta T sur l'eau est égal à **40 - 28 = 12°C** ce qui est anormalement élevé (il est généralement compris entre 5 et 8°C). *Cela indique sans aucun doute un manque de débit d'eau.*

En conclusion, il faut déterminer la raison pour laquelle le débit d'eau est trop faible. Par exemple, il y a un problème sur le circulateur, ou le filtre fin placé à l'entrée du circulateur est encrassé, ou l'installation est pleine d'air, etc.

EXERCICE 13

La batterie n'étant pas du tout givrée à votre arrivée sur le chantier, vous effectuez des mesures sur la PAC aérothermique schématisée en haut de la page ci-contre.

1. Que pensez-vous de la valeur de la BP ?
2. Que pensez-vous de la valeur de la surchauffe ?
3. Que pensez-vous de la valeur de la HP ?
4. Que pensez-vous du sous refroidissement ?
5. Que pensez-vous du Delta T sur l'eau dans le circuit primaire ?

En conclusion, cette installation est-elle en panne ? Si oui, quelle est la panne ?

Correction page 590...

EXERCICE 14

Essayez de répondre aux mêmes questions que dans l'exercice précédent en fonction du schéma situé en bas de la page ci-contre (les mesures ont été effectuées après un dégivrage, installation en régime, batterie non givrée).

Correction page 591...

Schéma de l'exercice 13

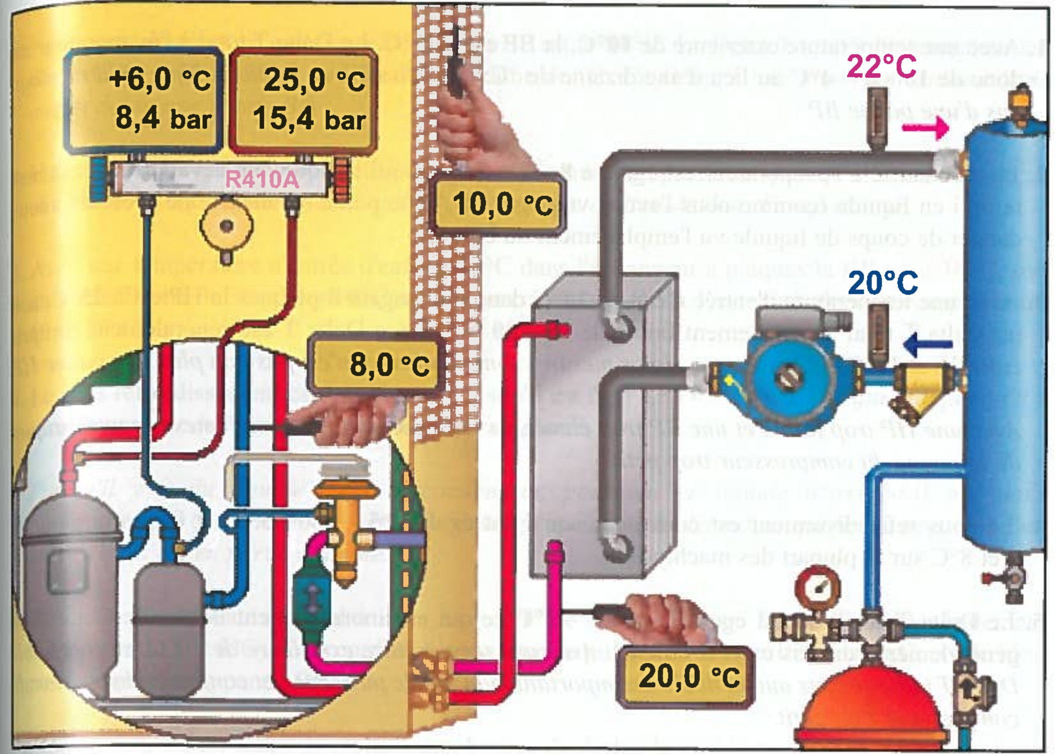
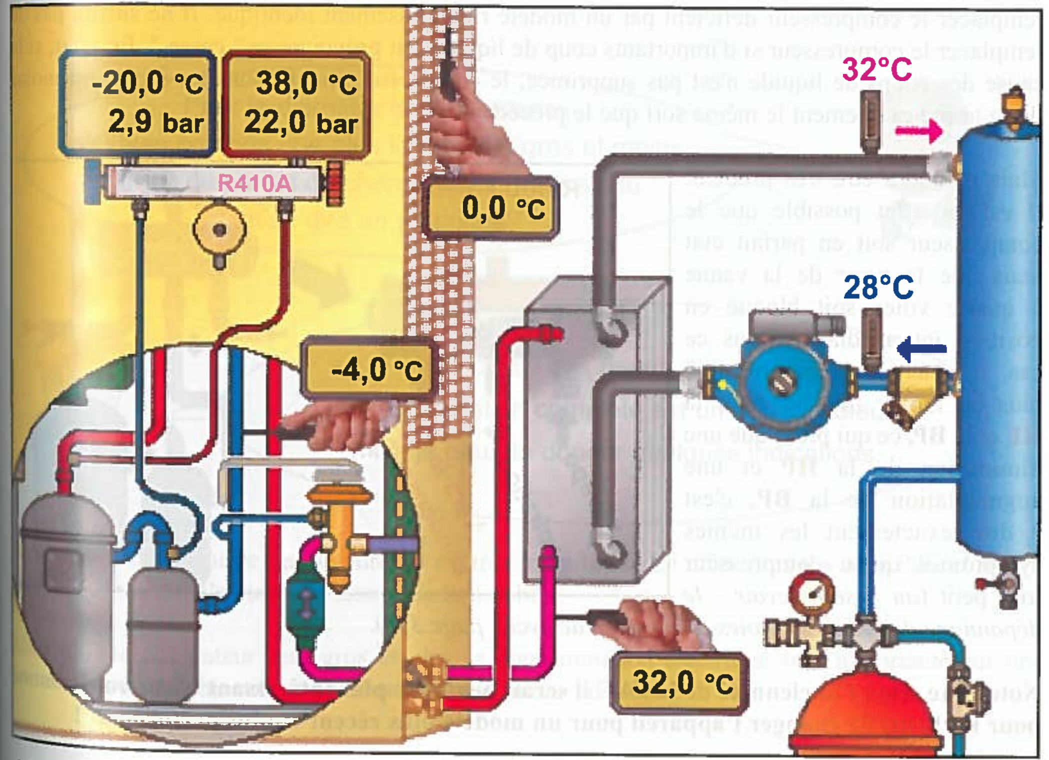


Schéma de l'exercice 14



CORRECTION DE L'EXERCICE 13

1. Avec une température extérieure de **10°C**, la BP est à **+6°C**. Le Delta T total à l'évaporateur est donc de **10 - 6 = 4°C** au lieu d'une dizaine de °C. *Ce Delta T très faible indique qu'il ne s'agit pas d'une panne BP.*

2. La surchauffe à l'évaporateur est égale à **8 - 6 = 2°C** ce qui indique que l'évaporateur est bien rempli en liquide (comme nous l'avons vu *page 579*, cette petite surchauffe ne présente aucun danger de coups de liquide vu l'emplacement du bulbe).

3. Avec une température d'entrée d'eau de **20°C** dans l'échangeur à plaques la HP est à **25°C**, soit un Delta T total anormalement faible de **25 - 20** = 5°C (ce Delta T est généralement compris entre 10 et 12°C). *A l'évidence, si nos mesures sont bonnes, ce n'est pas non plus une panne HP.*

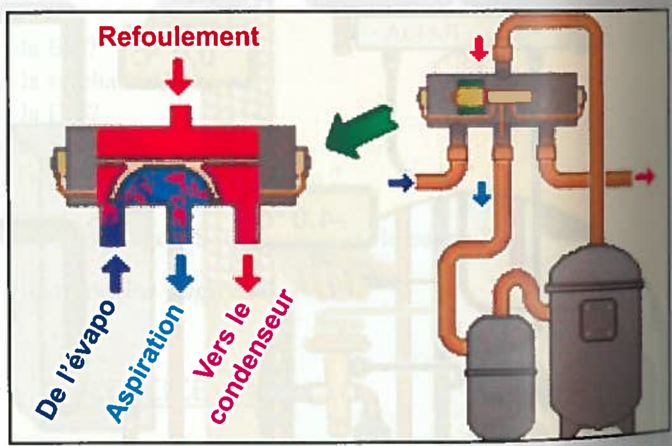
   Avec une HP trop faible et une BP trop élevée, la PAC présente les symptômes caractéristiques de la panne du compresseur trop petit.

4. Le sous refroidissement est correct puisqu'il est égal à **25 - 20 = 5°C** (il est compris entre 5 et 8°C sur la plupart des machines).

5. Le Delta T sur l'eau est égal à **22 - 20 = 2°C** ce qui est anormalement faible (ce Delta T est généralement compris entre 5 et 8°C). *Avec une température extérieure de 10°C, ce très faible Delta T indique sans aucun doute un important manque de puissance et confirme l'hypothèse du compresseur trop petit.*

Les compresseurs utilisés sur ces PAC, quelle que soit leur technologie, sont tous de type hermétique et donc irréparables. La seule chose à faire si l'hypothèse est confirmée est alors de remplacer le compresseur déficient par un modèle rigoureusement identique. Il ne suffira pas de remplacer le compresseur si d'importants coup de liquide ont provoqué sa " casse ". En effet, si la cause des coups de liquide n'est pas supprimée, le compresseur neuf connaîtra à plus ou moins long terme exactement le même sort que le précédent !

Mais il faudra être très prudent. Il est en effet possible que le compresseur soit en parfait état mais que le tiroir de la vanne à quatre voies soit bloqué en position intermédiaire. Dans ce cas, il y a une communication plus ou moins franche entre la **HP** et la **BP**, ce qui provoque une diminution de la **HP** et une augmentation de la **BP**, c'est à dire exactement les mêmes symptômes qu'un compresseur trop petit (*au besoin revoir : le dépannage des vannes 4 voies d'inversion de cycle, page 353).*



Notez que selon l'ancienneté de la PAC il serait peut-être plus intéressant (pour vous comme pour le client) de changer l'appareil pour un modèle plus récent et plus performant !

CORRECTION DE L'EXERCICE 14

1. Avec une température extérieure de **0°C**, la BP est à **-20°C**. Le Delta T total à l'évaporateur est donc de **0 - (-20) = 20°C** au lieu d'une dizaine de °C. *Ce Delta T très important indique sans aucun doute une panne BP.*

2. La surchauffe à l'évaporateur est anormalement importante puisqu'elle est égale à **-4 - (-20) = 16°C**. *Il est évident qu'il n'y a pas assez de liquide dans l'évaporateur.*

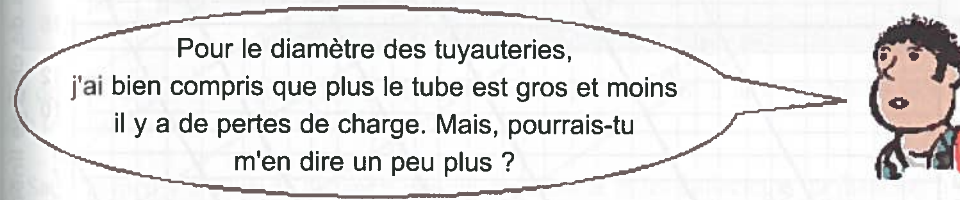
3. Avec une température d'entrée d'eau de **28°C** dans l'échangeur à plaques la HP est à **38°C**, soit un Delta T total de **38 - 28 = 10°C**, ce qui est correct (ce Delta T est généralement compris entre 10 et 12°C).

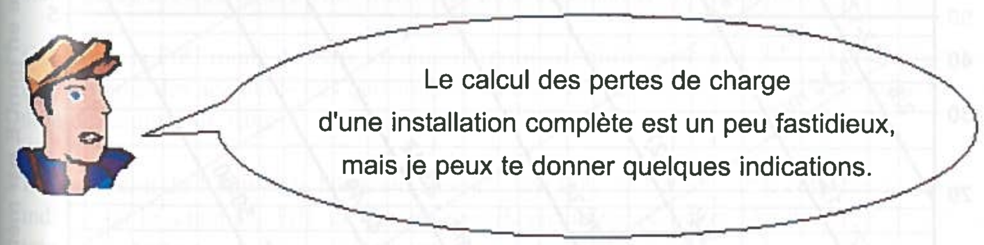
4. Le sous refroidissement est très correct puisqu'il est égal à **38 - 32 = 6°C**, *ce qui indique qu'il y a suffisamment de liquide dans le bas du condenseur.*

   Puisqu'il y a du liquide dans le condenseur, pourquoi ce liquide n'arrive-t-il pas dans l'évaporateur ? Quelque chose gêne son passage : soit c'est le détendeur qui ferme trop, soit c'est le déshy qui est en partie colmaté.

5. Le Delta T sur l'eau est égal à **32 - 28 = 4°C** ce qui est un peu faible (il est généralement compris entre 5 et 8°C). Cela confirme le manque de puissance de chauffe de la PAC, ce qui n'est pas étonnant vu la panne BP.

En conclusion, s'il n'y a pas de Delta T aux bornes du déshy, le problème vient du détendeur (trop fermé à la suite d'un mauvais réglage, grippé mécaniquement, etc.).





La sélection du diamètre des tuyauteries est très importante. En effet, plus il y a de PdC et plus il faudra un gros circulateur pour assurer le bon débit.

Mais plus le circulateur sera gros et plus sa consommation électrique sera importante sur une installation dont l'objectif est de consommer le moins possible...

Pour simplifier, prenons une PAC qui n'alimente qu'un plancher chauffant, par exemple réutilisons certaines indications de la doc de la PAC étudiée *page 558*.

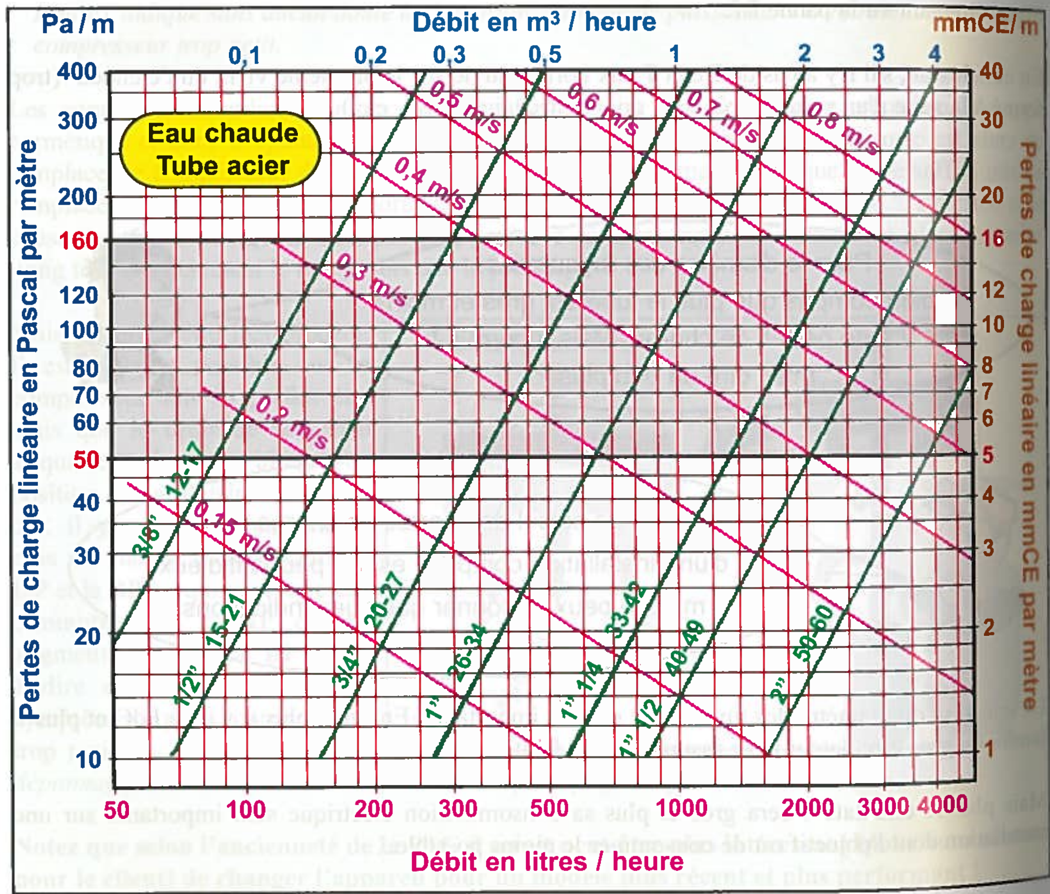
Pompe à chaleur Air/Eau		
Chauffage seul - Modèle KOTZ08		
Pour plancher chauffant - T ext. = 7°C - Eau à 30/35°C		
Puissance calorifique nominale à +7°C	kW	8,6
Puissance absorbée nominale à +7°C	kW	2,32
COP		3,7
Débit d'eau	m^3/h	1,5
Pression disponible	kPa / mCE	32 / 3,2

Nous avons vu que le débit d'eau est fonction de la puissance de la PAC et du Delta T nominal (5°C pour un plancher chauffant), ce qui nous donne un débit de 8,6 / 1,16 x 5 = **1,5 m³/h** (*au besoin revoir la page 549*).

Notez que le constructeur fournit un circulateur assurant une pression disponible de 32 kPa, soit 3,2 mCE (nous expliquerons cette donnée dans le prochain exercice).

Le diamètre des raccordements prévus par le constructeur sur le condenseur est une bonne indication du diamètre à utiliser. Cependant, il faut rester prudent car un diamètre trop faible entraînerait une vitesse trop élevée avec pour conséquences des pertes de charge importantes et des bruits parasites. Il faut donc vérifier que la vitesse maximale admissible n'est pas atteinte.

A titre informatif, nous avons reproduit ci-dessous un abaque de sélection pour de l'eau chaude circulant dans du tube acier (vous en aurez besoin dans l'exercice suivant).

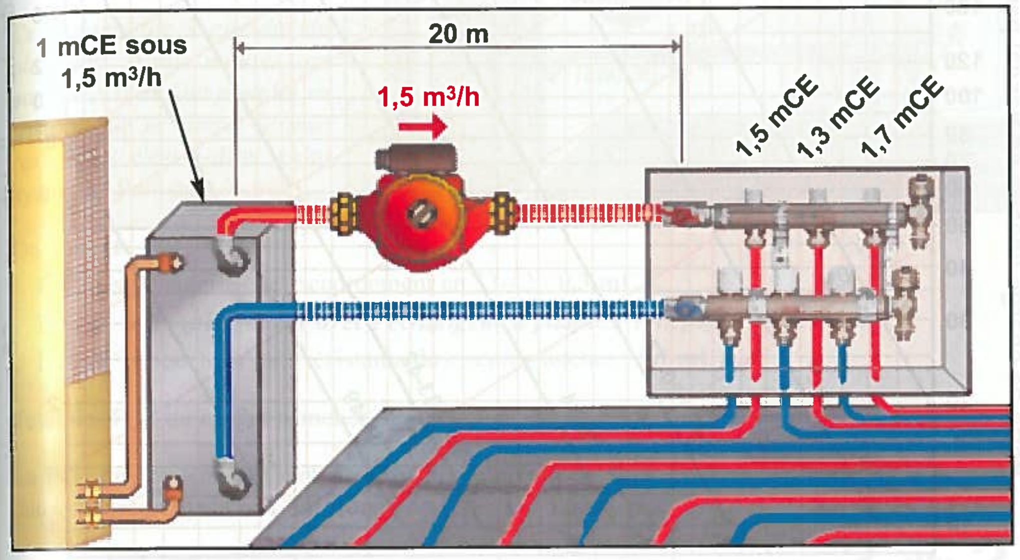


La sélection du diamètre s'effectue en fonction de la perte de charge linéaire acceptable, soit sur cet abaque entre 5 et 16 mmCE par mètre de tube (zone grisée), ce qui correspond à 50 à 160 Pascal par mètre de tube.

ATTENTION : ce ne serait pas le même abaque pour un autre fluide (eau glycolée, R410A gazeux, R410A liquide, R407C gazeux, etc.) ou pour un autre tube (cuivre, PER, PVC, etc.).

EXERCICE 15

Sur notre PAC de la page précédente, le constructeur a fourni le kit hydraulique comprenant l'ensemble des éléments nécessaires pour l'installation (pour simplifier le schéma, nous n'avons représenté que l'échangeur à plaques et le circulateur).



La doc de la PAC indique qu'elle nécessite un débit de 1,5 m³/h aux conditions nominales et que la pression disponible est de 3,2 mCE.

1. Sachant qu'il y a 20 m de distance entre le condenseur et les collecteurs du plancher quel est le diamètre du tube acier que vous utiliseriez pour effectuer les raccordements ?

2. Quelle est la PdC totale de cette tuyauterie (pour simplifier, rajoutez 20% à la PdC du tube pour tenir compte des accidents tels que coudes, vannes, etc. Comptez 0,5 mCE en plus si vous jugez utile de rajouter un filtre.

3. Pour un débit de 1,5 m³/h le fabricant annonce une PdC de 1 mCE sur le condenseur. Nous avons indiqué sur le schéma la PdC de chaque zone de chauffage plancher. Quelle est selon vous la PdC totale que doit vaincre le circulateur pour assurer ce débit de 1,5 m³/h ?

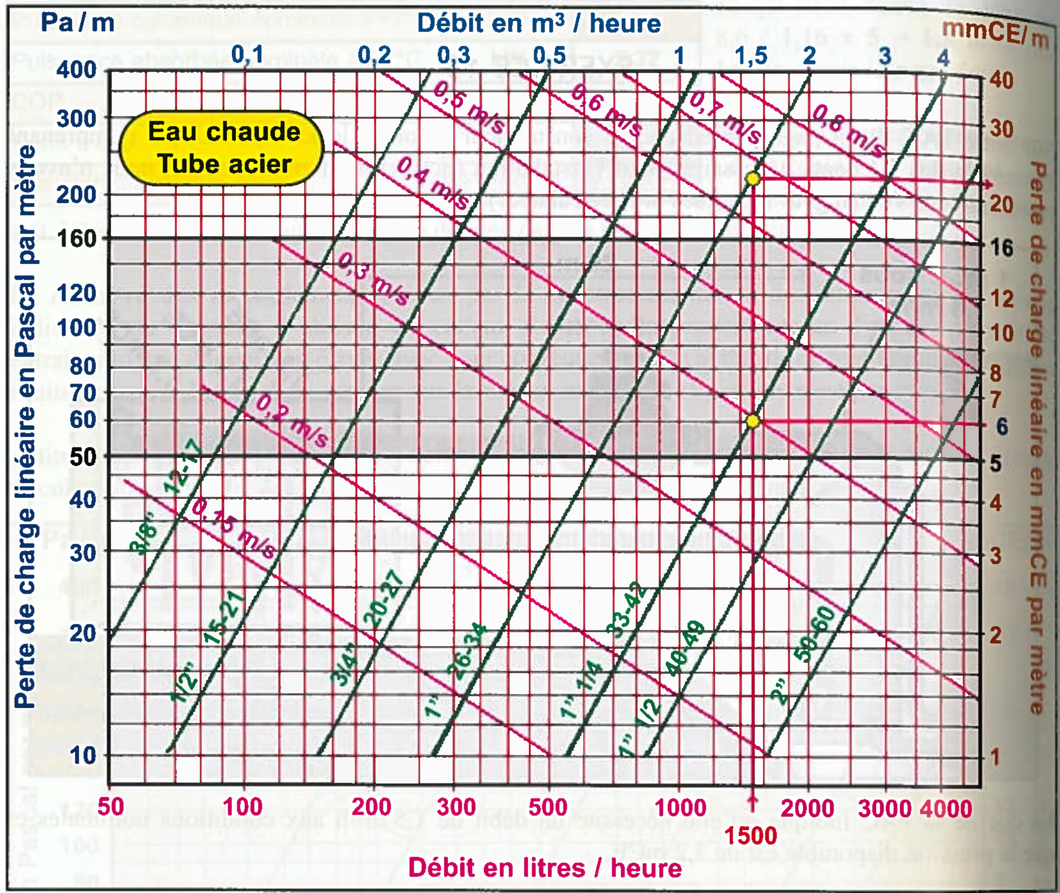
4. A quoi correspond la pression disponible de 3,2 mCE annoncée par le fabricant ? Quelle est la HMT du circulateur fourni avec le kit hydraulique ? Ce circulateur convient-il ?

Correction pages suivantes...

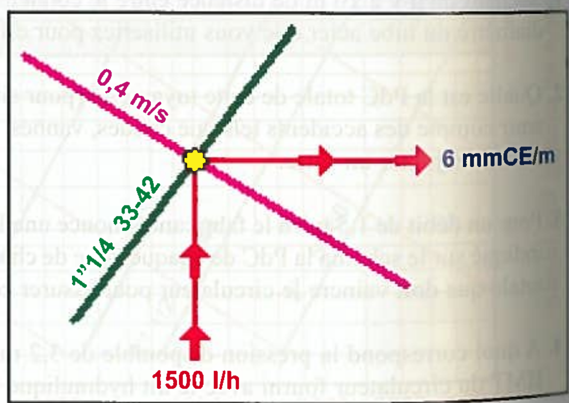
CORRECTION DE L'EXERCICE 15

1. Quel est le diamètre du tube acier que vous utiliseriez pour effectuer les raccordements ?

Notre PAC nécessitant un débit de **1,5 m³/h** (ou **1500 litres/heure**) dressons sur l'abaque la verticale passant par ce point.



Cette verticale coupe la courbe du tube de **1"1/4**, soit un diamètre intérieur de 33 mm et un diamètre extérieur de 42 mm en indiquant une perte de charge linéaire de **6 mmCE / m**. La vitesse de l'eau avec ce diamètre serait alors de 0,4 m/s.



Nous sommes dans la zone grisée, ce qui est recommandé.

Au passage, notez que si l'on utilisait un tube de 26-34 mm (donc de diamètre intérieur 26 mm) la PdC deviendrait supérieure à 20 mmCE / mètre (plus du triple) et la vitesse serait proche de 0,7 m/s (près du double) : ce n'est pas acceptable.

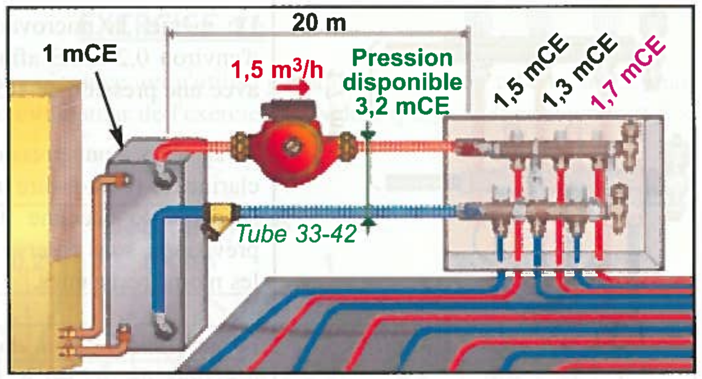
2. Quelle est la PdC totale de cette tuyauterie ?

Nous utiliserons donc du tube de 33-42 avec une PdC linéaire de **6 mmCE/m** soit pour 40 m de tube (aller + retour) **6** x 40 = 240 mmCE. Pour tenir compte des divers accidents (coudes, vannes, etc.), rajoutons 20%, soit une perte de charge totale de la tuyauterie de raccordement (hors filtre) d'environ 240 x 1,2 = 288 mmCE que l'on peut arrondir à **0,3 mCE**.

3. Quelle est selon vous la PdC totale que doit vaincre le circulateur ?

Pour connaître la PdC que le circulateur doit vaincre, il faut additionner l'ensemble des pertes de charge en série.

Cependant, les 3 circuits du plancher étant montés en parallèle, il ne faut prendre en compte que le circuit le plus résistant, c'est-à-dire celui ayant une PdC de **1,7 mCE**.

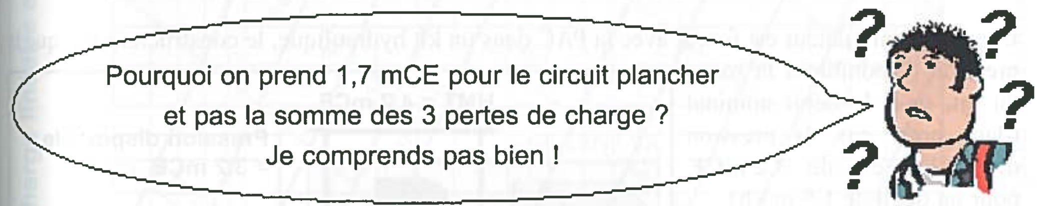


On obtient :

- PdC des tuyauteries de raccordement en 33-42 : **0,3 mCE**.
- PdC du filtre (***obligatoire avec l'échangeur à plaques, voir page 565***) : **0,5 mCE.**
- PdC de la boucle la plus résistante du circuit plancher : **1,7 mCE.**

Total des PdC du circuit plancher : 0,3 + 0,5 + 1,7 = **2,5 mCE**.

La PdC du condenseur étant de **1 mCE**, le circulateur doit être capable d'assurer le bon débit dans un circuit ayant une PdC totale de 2,5 + 1 = **3,5 mCE**.

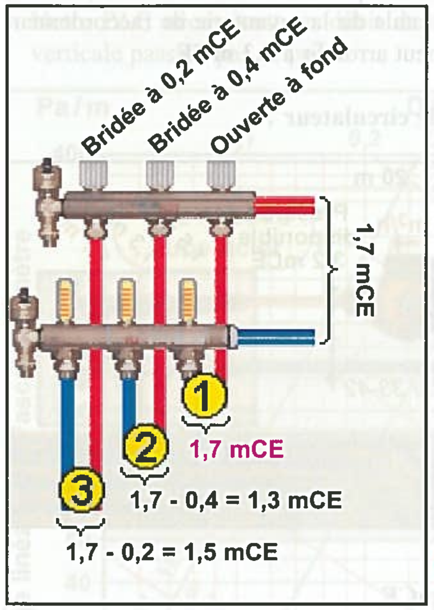


Essayons de clarifier les choses. Pour commencer, on a calculé les déperditions dans chacune des 3 zones chauffées par le plancher. On a multiplié les valeurs trouvées par 1,2 (*au besoin, revoir la page 556*) pour déterminer la puissance à installer dans chaque zone. En appliquant un Delta T de 5°C, on a alors calculé pour chacune de ces 3 zones le débit d'eau nécessaire ainsi que la longueur et le diamètre de tube PER à incorporer dans la dalle.

Connaissant le diamètre et la longueur de tube à utiliser pour chaque zone, on a calculé la PdC de chacune d'entre elle, exactement comme nous venons de le faire pour le circuit condenseur, mais en utilisant un abaque fait pour le tube PER.

On a trouvé respectivement **1,7 mCE** pour la zone n°1, 1,3 mCE pour la zone n°2 et 1,5 mCE pour la zone n°3...

A ce moment, si une pression de 1,7 mCE est appliquée entre l'aller et le retour des clarinettes, la microvanne 1 devra être ouverte à fond afin que sa PdC soit proche de 0. La zone 1 étant alors alimentée sous un Delta P de 1,7 mCE, elle recevra le débit prévu.



La microvanne 2 devra être bridée pour présenter une PdC de 0,4 mCE afin que la pression d'alimentation de la zone 2 soit de 1,7 - 0,4 = 1,3 mCE, ce qui permettra à cette zone d'avoir son bon débit.

De même, la microvanne 3 devra présenter une PdC d'environ 0,2 mCE afin que la la zone 3 soit alimentée avec une pression de 1,5 mCE.

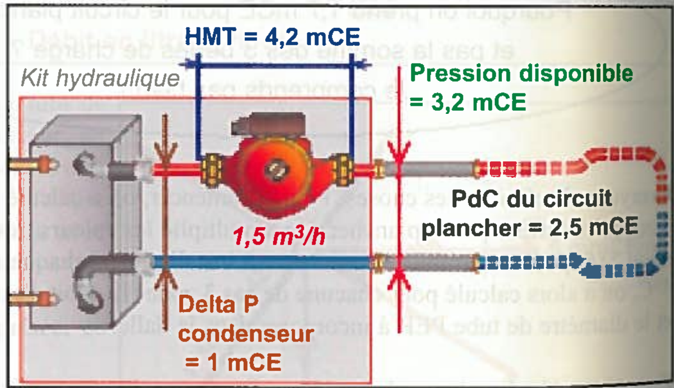
Ainsi, s'il y a une pression de 1,7 mCE disponible sur les clarinettes (c'est-à-dire la PdC du circuit le plus résistant), le débit de chacune des 3 zones sera conforme aux prévisions, sous réserve de brider le débit dans les zones les moins résistantes.

Le circulateur doit donc être capable d'assurer une pression de 1,7 mCE sur les clarinettes, ni plus, ni moins.

Notez les petits débitmètres que l'on rencontre fréquemment sur les clarinettes, souvent gradués en litres/mn. Si leur affichage n'est pas d'une précision absolue, ils permettent néanmoins de se faire une bonne idée des débits circulant dans chaque zone. C'est une aide non négligeable.

4. A quoi correspond la pression disponible de 3,2 mCE annoncée par le fabricant ? Quelle est la HMT du circulateur fourni avec le kit hydraulique ? Ce circulateur convient-il ?

Lorsque le circulateur est fourni avec la PAC dans un kit hydraulique, le constructeur indique la pression disponible à la sortie du kit, pour le débit nominal (dans notre cas, la pression disponible est de 3,2 mCE pour un débit de 1,5 m3/h).



En fait, comme le montre le schéma, le constructeur a soustrait la PdC du condenseur de la HMT du circulateur qu'il a installé.

Cela signifie que si la PdC du circuit plancher est de **3,2 mCE** le débit dans ce circuit sera de **1,5 m3/h.**

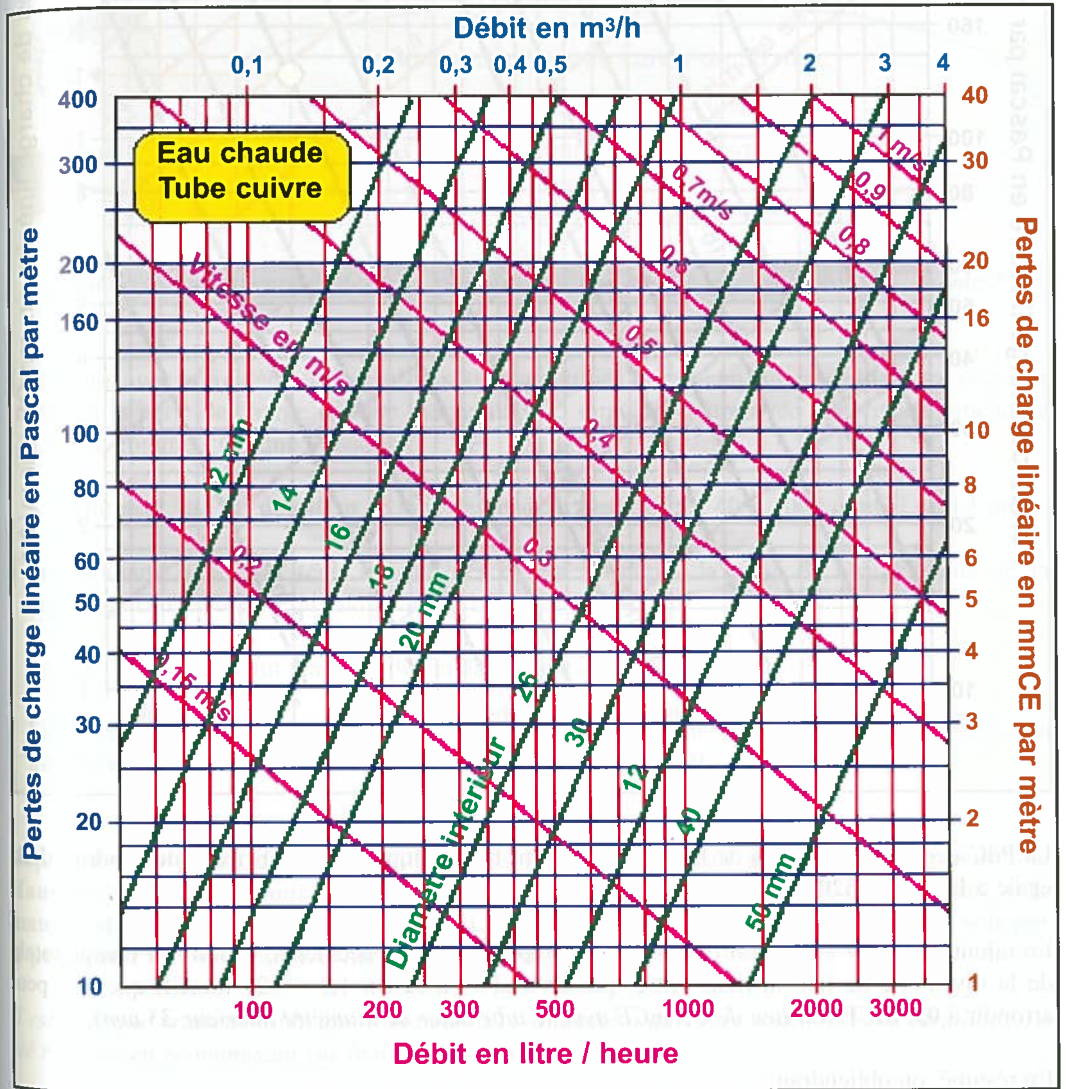
Attendu que la PdC de notre circuit plancher n'est que de **2,5 mCE** (valeur calculée dans la question 3), le circulateur convient très bien. La pression disponible qu'il fournit étant supérieure à la perte de charge du circuit plancher, le débit obtenu sera supérieur au débit nominal calculé...

Pour régler le débit, il suffira soit d'ajuster la vitesse du circulateur (*voir page 525*) soit de brider les microvannes sur les clarinettes. Rappelez-vous qu'un débit trop important entraîne une surconsommation électrique du circulateur et risque de rendre l'installation bruyante.

A l'inverse, un débit trop faible aura pour effet d'augmenter la Haute Pression ce qui entraînera une surconsommation électrique du compresseur et un chute du COP (bien sûr, si le sous débit est trop important, il provoquera une coupure en sécurité, soit par le pressostat HP, soit par le contrôleur de débit).

EXERCICE 16

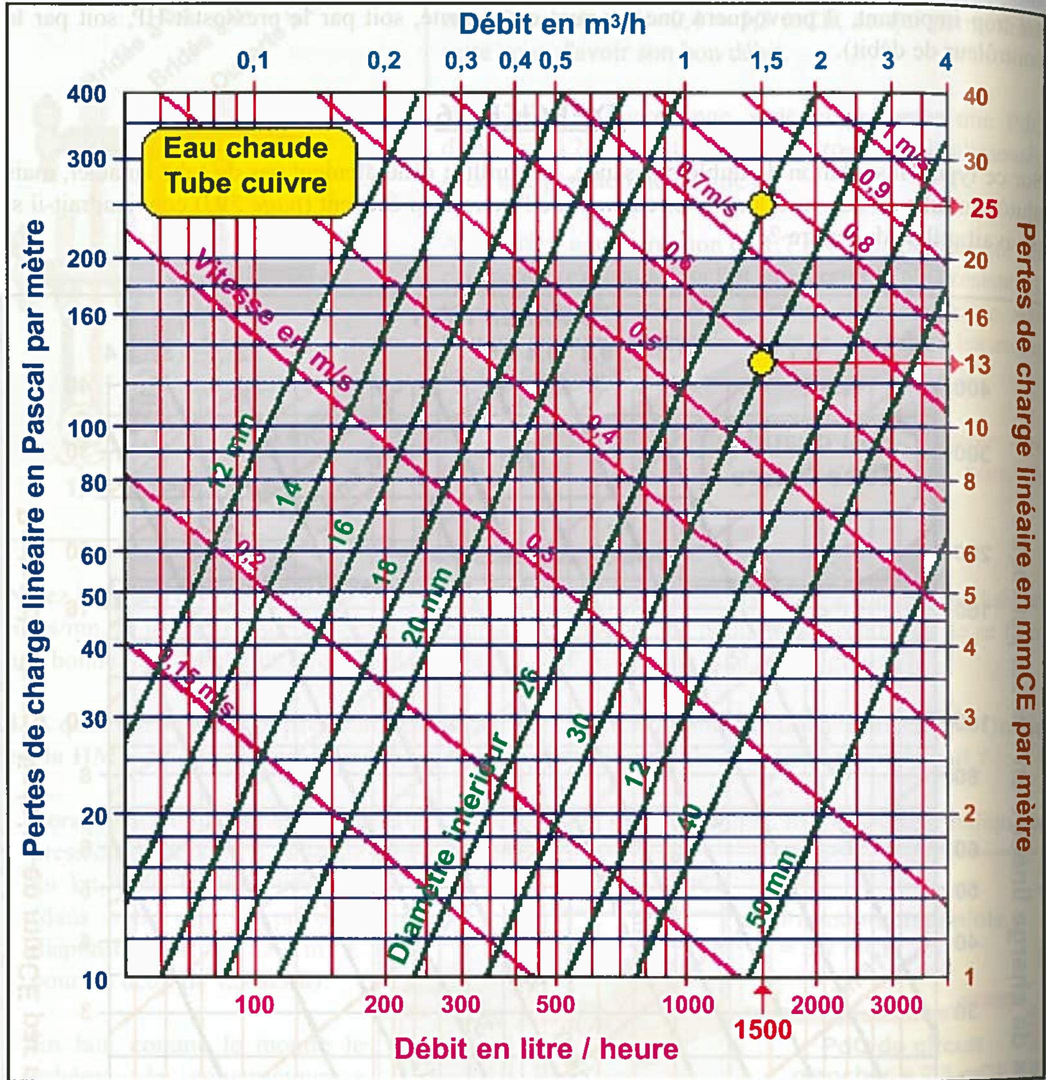
Sur ce type d'installation de faible puissance, on n'utilise généralement pas du tube en acier, mais plutôt du tube en cuivre. Alors, le circulateur de l'exercice précédent (*page 593*) conviendrait-il si on avait utilisé du cuivre ?



Solution pages suivantes...

CORRECTION DE L'EXERCICE 16

Pour notre débit de **1,5 m³/h**, on voit qu'un tube en cuivre ayant un diamètre intérieur de **30 mm** provoquerait une perte de charge linéaire tout à fait acceptable (dans la zone grisée) de **13 mmCE / mètre**, l'eau circulant à une vitesse d'environ **0,6 m/s**.



La PdC des 40 m des tubes de liaison entre le kit hydraulique et les clarinettes deviendrait donc égale à 13 x 40 = **520 mmCE**.

En rajoutant les 20% nécessaires pour tenir compte des divers accidents, la perte de charge totale de la tuyauterie de liaison (hors filtre) passerait alors à 520 x 1,2 = 624 mmCE que l'on peut arrondir à **0,6 mCE** (*au lieu de 0,3 mCE avec le tube acier de diamètre intérieur 33 mm*).

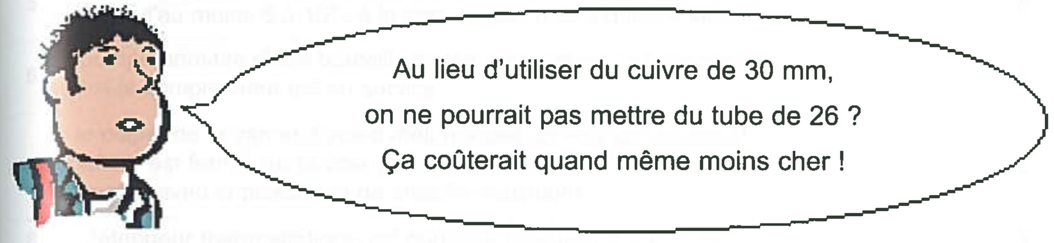
En résumé, on obtiendrait :

PdC des tuyauteries de raccordement en cuivre de diamètre intérieur 30 mm : **0,6 mCE**.
PdC du filtre (obligatoire avec l'échangeur à plaques, *voir page 565*) : **0,5 mCE**.
PdC de la boucle la plus résistante du circuit plancher : **1,7 mCE**.

Total des PdC du circuit plancher : 0,6 + 0,5 + 1,7 = **2,8 mCE** (*au lieu des 2,5 mCE obtenus avec le tube acier de diamètre intérieur 33 mm*).

La Pression disponible étant de **3,2 mCE**, le circulateur serait tout à fait capable d'assurer le bon débit d'eau dans le circuit plancher.

Pour répartir correctement le débit dans les différentes zones du chauffage plancher, il suffirait alors, comme nous l'avons vu *page 596* avec le tube acier en 33-42, d'ajuster le réglage des microvannes sur les clarinettes.



Avant de lire la réponse ci-dessous, pourquoi ne pas essayer d'y répondre vous-même ?

Toujours avec notre débit de 1,5 m³/h, si on avait utilisé du tube en cuivre de diamètre intérieur 26 mm la perte de charge linéaire monterait à 25 mmCE / mètre avec une vitesse proche de 0,8 m/s, comme l'indique l'abaque.

A ce moment, la PdC des 40 m de tube deviendrait égale à 25 x 40 = 1000 mmCE, soit 1 mCE.

En rajoutant 20% pour tenir compte des divers accidents, la perte de charge totale de la tuyauterie (hors filtre) serait alors de 1 x 1,2 = 1,2 mCE.

La PdC totale du circuit plancher deviendrait égale à : 1,2 + 0,5 + 1,7 = 3,4 mCE.

La Pression disponible n'étant que de 3,2 mCE, le débit dans le circuit plancher serait déjà trop faible dès la mise en route de l'installation, **alors que le filtre serait propre !**

Rappelez-vous qu'un débit trop faible dans le plancher aurait pour effet d'augmenter la Haute Pression, avec pour conséquence une réduction importante du COP. De plus, si le manque de débit devenait trop important, il provoquerait une coupure en sécurité, soit par le pressostat HP, soit par le contrôleur de débit.

Il est plus que vraisemblable que l'on pourrait s'attendre à quelques soucis si cette installation a été réalisée en économisant sur le diamètre du tube !

NOTES PERSONNELLES

	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°36 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX	
1	Avec 0°C extérieur on peut évaluer la température d'évaporation d'une PAC aérothermique à environ -10°C			1
2	Plus la température extérieure diminue et plus la puissance calorifique des PAC aérothermiques diminue			2
3	Il est recommandé de sélectionner une PAC aérothermique de sorte que sa puissance calorifique soit égale à la puissance de chauffe nécessaire à environ 7°C extérieur			3
4	Dans une bouteille casse pression le piquage du tube chaud le plus bas ne doit surtout pas être éloigné de plus de 3D du piquage du tube froid le plus haut			4
5	Dans une bouteille casse pression, le débit du primaire doit être inférieur d'au moins 5 à 10% à la somme des débits dans le secondaire			5
6	La pompe primaire d'une bouteille casse pression ne doit démarrer que si le compresseur est en service			6
7	Si le clapet de la vanne 3 voies mélangeuse utilisée sur un circuit radiateur est fermé sur la voie de bipasse, alors les radiateurs sont alimentés avec la puissance de chauffe maximum			7
8	Un détendeur thermostatique est équilibre lorsque Fo = Fb + Fr			8
9	Pendant un dégivrage, une PAC aérothermique refroidit l'eau du circuit de chauffage			9
10	Le bulbe d'un détendeur thermostatique bi-flow doit être fixé sur un tube raccordé soit à l'entrée, soit à la sortie de la bouteille anti coups de liquide			10

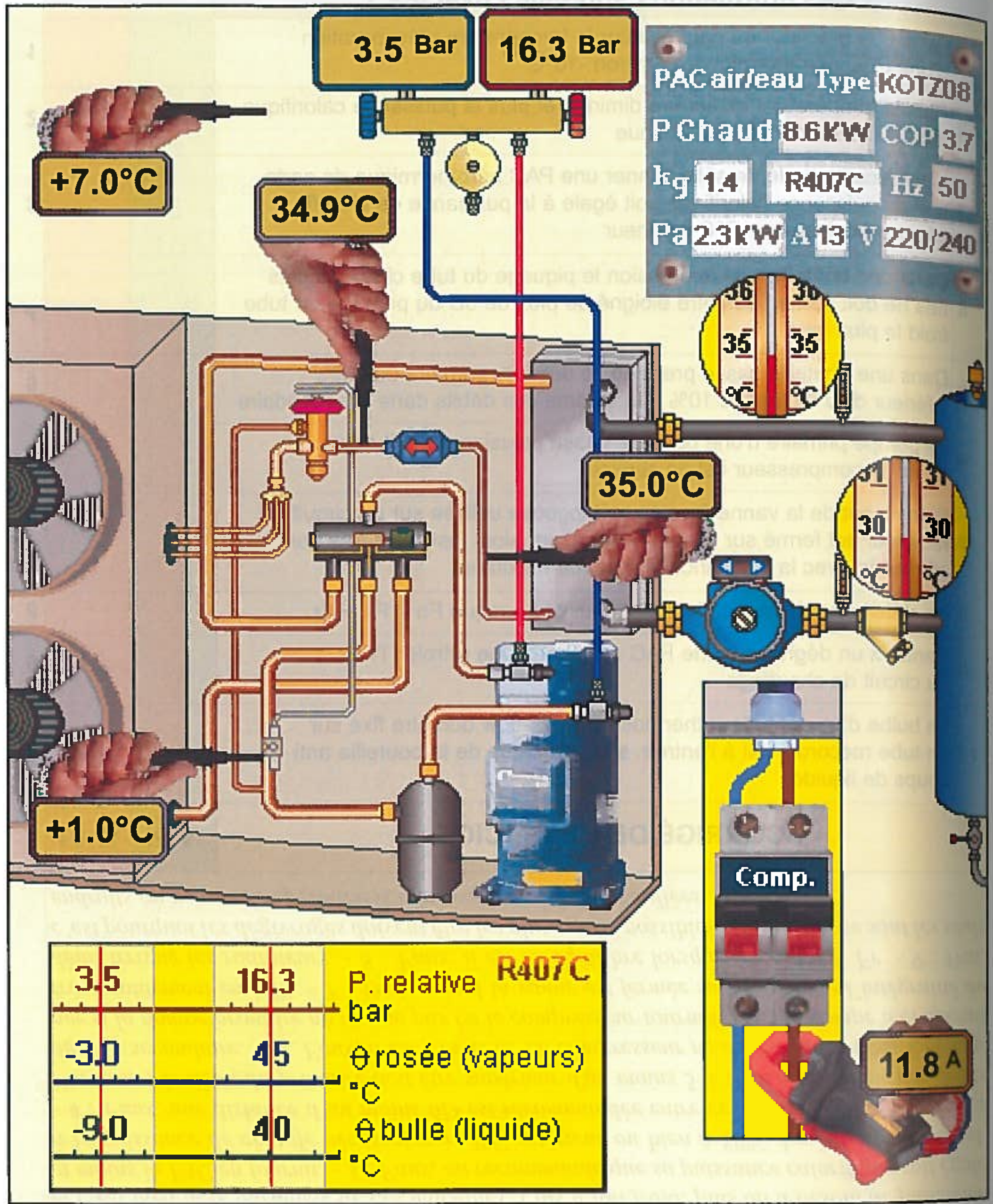
CORRIGÉ DE L'EXERCICE

VRAI | FAUX

1 : Vrai, le Delta T total à l'évaporateur sur ce type de machine est d'environ 10°C. - 2 : Vrai, et c'est bien là le paradoxe de ces machines. Plus il fait froid, plus on a besoin de puissance et moins la PAC en fournit. - 3 : Faux, on recommande que sa puissance calorifique soit égale à la puissance de chauffe nécessaire à -3°C extérieur ou bien à 80% des besoins en chaud. - 4 : Faux, une distance d'au moins 6D est recommandée entre ces 2 tubes. - 5 : Faux, c'est l'inverse : le débit du primaire doit être supérieur d'au moins 5 à 10% à la somme des débits dans le secondaire. - 6: Faux, c'est l'inverse. Le compresseur ne doit en aucun cas fonctionner si la pompe primaire ne tourne pas (si le compresseur tournait sans la pompe il couperait très rapidement en HP). - 7 : Vrai, quand la vanne est fermée sur le bipasse l'intégralité du débit irrigue les radiateurs. - 8 : Faux, il est en équilibre lorsque Fb = Fo + Fr. - 9 : Vrai, c'est pourquoi les dégivrages doivent être les plus courts possibles. - 10 : Vrai, ce sont les seuls endroits où passent en permanence les vapeurs BP surchauffées.

Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

PAC AÉROTHERMIQUES : DÉPANNAGES DE SYNTHÈSE



PAC air/eau - Modèle KOTZ08		
Plancher chauffant - T ext. = 7°C - Eau à 30/35°C		
Puissance calorifique à +7°C	kW	8,6
Puissance absorbée à +7°C	kW	2,32
COP		3,7
Débit d'eau	m^3/h	1,5

L'installation ci-dessus est représentée en fonctionnement normal aux conditions nominales.

Le fluide utilisé est le R407C, fluide à fort glissement (en cas de besoin, révisez les pages 258 à 265).

ANALYSE EN FONCTIONNEMENT NORMAL DE LA PAC

ANALYSE DE LA BP. Le Delta T total à l'évaporateur sur ce type d'installations est généralement de l'ordre de 10°C. La température d'évaporation à prendre en compte est la température de rosée et un Delta T total trop important à l'évaporateur indique une panne BP.

ANALYSE DE LA SURCHAUFFE. Avec un détendeur thermostatique dont le bulbe est fixé à l'entrée de la bouteille anti-coups de liquide, comme cela est fait sur cette installation, la surchauffe peut être faible sans aucun danger. Elle est alors généralement comprise entre 2 et 4°C.

- *Rappelez-vous qu'une panne BP avec une faible surchauffe indique un problème d'évapo trop petit (manque de débit d'air, problème de dégivrage ou évaporateur encrassé).*

ANALYSE DU SOUS REFROIDISSEMENT. Sur les installations de ce type, le sous refroidissement est généralement compris entre 4 et 8°C.

Pour rappel, en cas de panne BP :

- *Un sous refroidissement trop faible indique un manque de charge en fluide.*
- *Un sous refroidissement correct indique soit une prédétente sur la ligne liquide, soit un détendeur trop petit (s'il n'y a pas de prédétente).*

En cas de panne HP :

- *Un sous refroidissement trop faible indique un condenseur trop petit. Dans ce cas, c'est le Delta T sur l'eau qui permet de trancher entre un condenseur encrassé (Delta T faible) et un manque de débit d'eau (Delta T élevé).*
- *Un sous refroidissement plutôt correct indique soit un excès de charge en fluide, soit une forte présence d'incondensables. Dans tous les cas, il y a eu une erreur humaine et il faudra récupérer tout le fluide, procéder à un léger tirage au vide puis recharger avec la masse exacte de fluide indiquée par le constructeur.*

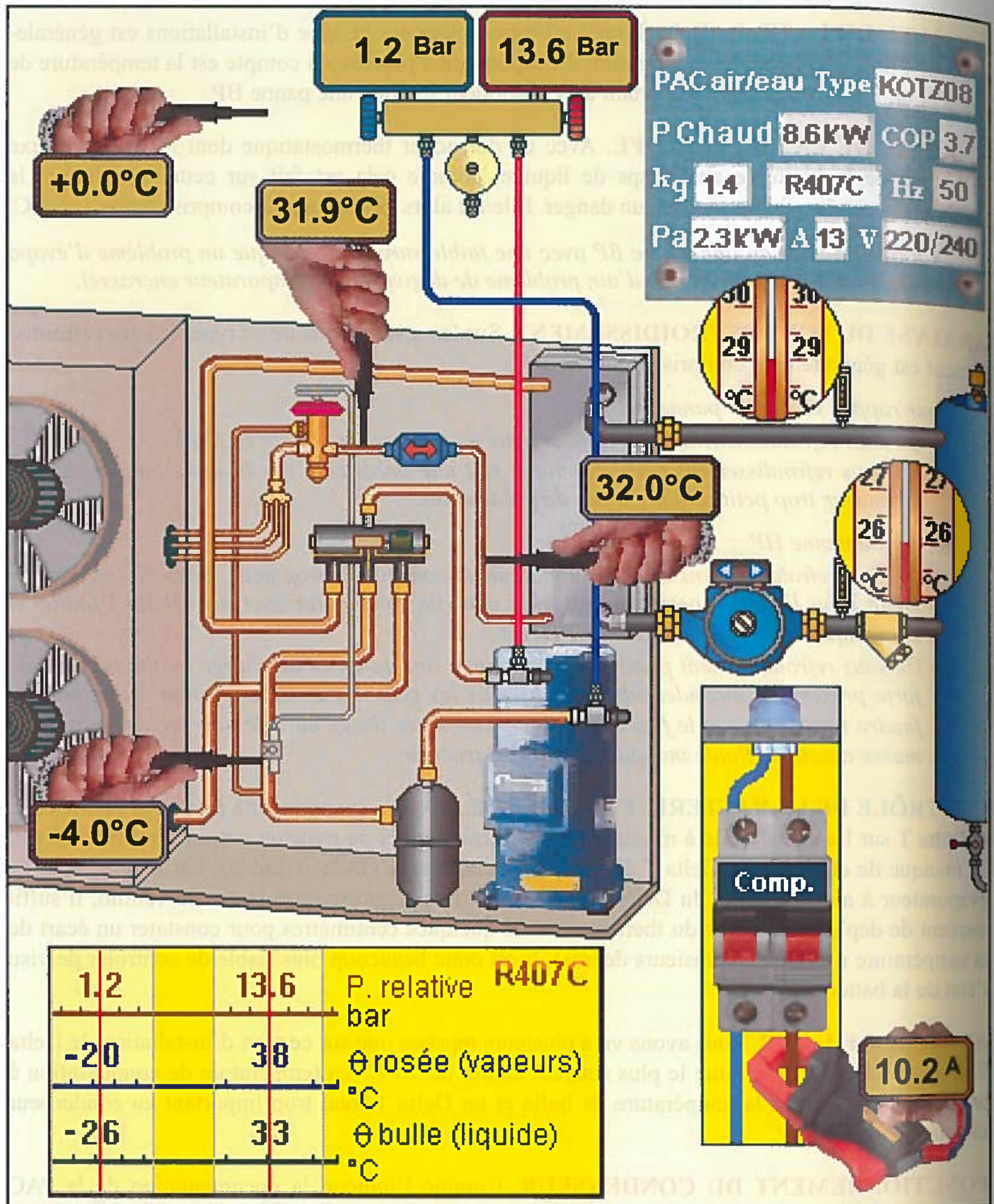
CONTRÔLE DE LA BATTERIE EXTÉRIEURE. Avec un évaporateur à eau, nous verrons que le Delta T sur l'eau est facile à mesurer. C'est lui qui permet de trancher entre les problèmes soit de manque de débit d'eau (Delta T élevé), soit d'encrassage (Delta T faible). Par contre, avec un évaporateur à air, la mesure du Delta T sur l'air est très aléatoire (à la sortie du ventilo, il suffit souvent de déplacer la sonde du thermomètre de quelques centimètres pour constater un écart de la température mesurée de plusieurs degrés). Il est donc beaucoup plus fiable de contrôler de visu l'état de la batterie.

ANALYSE DE LA HP. Nous avons vu à plusieurs reprises que sur ce type d'installation, le Delta T total au condenseur se situe le plus souvent autour de 10°C. La température de condensation à prendre en compte est la température de bulle et un Delta T total trop important au condenseur indique une panne HP.

FONCTIONNEMENT DU CONDENSEUR. Comme l'indique la documentation de la PAC utilisée, sa puissance calorifique nominale par +7°C extérieur est de 8,6 kW avec de l'eau à 30/35°C (donc un Delta T de 5°C) pour un débit de 1,5 m^3/h. C'est dire que le Delta T sur l'eau devrait être voisin de 5°C quand la température extérieure est de 7°C.

- *Par contre, lorsque la température extérieure sera inférieure à 7°C, la puissance frigo et donc la puissance calorifique seront plus faibles. Le débit de la pompe étant constant, c'est dire que le Delta T sur l'eau sera également plus faible.*
- *Pour rappel, un Delta T sur l'eau anormalement faible indique un encrassage ou un entartrage du condenseur tandis qu'un Delta T trop élevé indique un manque de débit d'eau.*

PAC AÉROTHERMIQUES : DÉPANNAGE DE SYNTHÈSE n°1



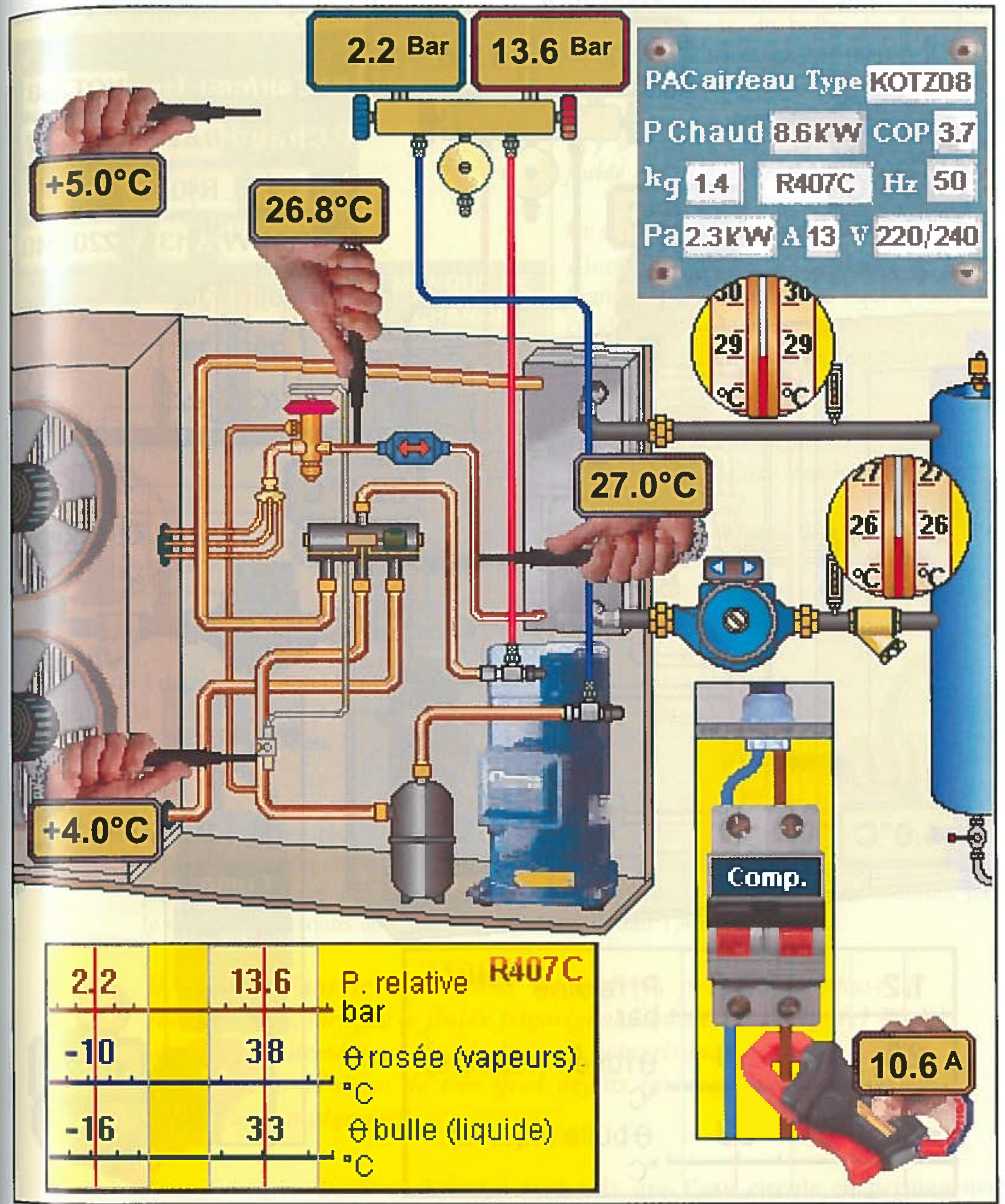
Vous êtes appelé en dépannage sur cette PAC alimentant un plancher chauffant.

En arrivant sur le chantier, vous avez monté vos manos, provoqué un dégivrage et vous êtes allé discuter quelques minutes avec le client pendant que l'installation dégivre et se met en régime.

En fonction des relevés effectués ensuite, que diagnostiquez-vous ?

Correction page 606

PAC AÉROTHERMIQUES : DÉPANNAGE DE SYNTHÈSE n°2



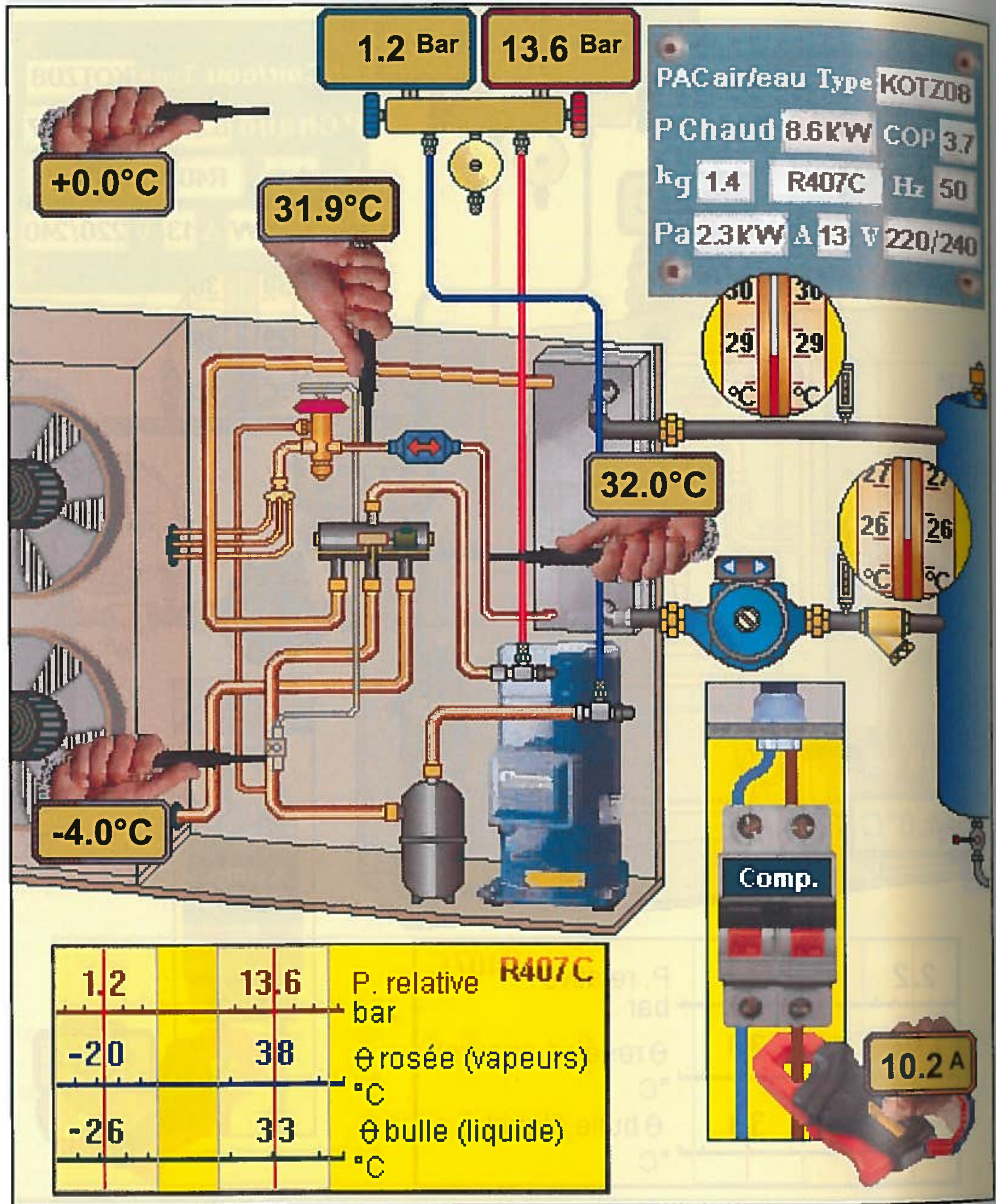
Vous êtes appelé en dépannage sur cette PAC alimentant un plancher chauffant.

En arrivant sur le chantier, vous avez monté vos manos, provoqué un dégivrage et vous êtes allé discuter quelques minutes avec le client pendant que l'installation dégivre et se met en régime.

Et maintenant, en fonction de ces autres relevés, que diagnostiquez-vous ?

Correction page 608

PAC AÉROTHERMIQUES : CORRECTION DU DÉPANNAGE n°1

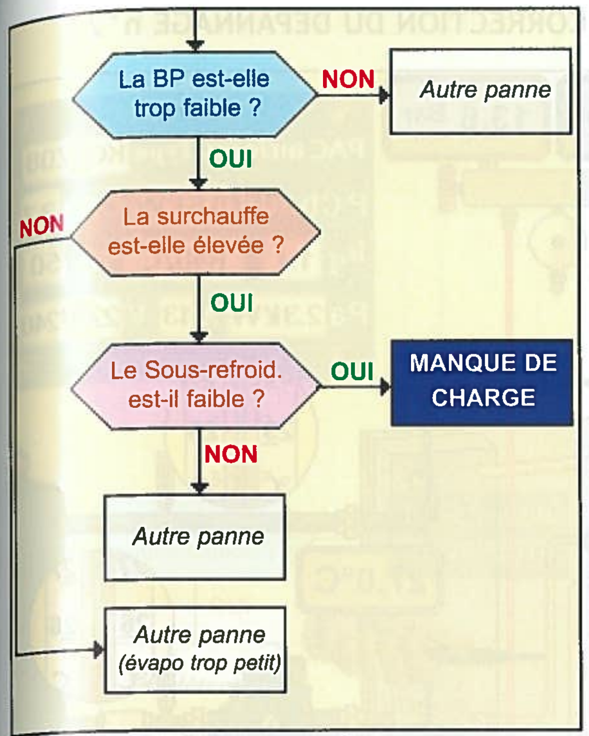


En nous référant à l'organigramme de la page ci-contre :

La BP est-elle trop faible ?

Avec 0°C extérieur, la température d'évaporation est de -20°C (on doit utiliser la température de rosée).

Ce delta T total très important (près du double de la normale) indique sans aucun doute possible une panne BP.



La surchauffe est-elle élevée ?

Alors que l'on vaporise à -20°C, la température au niveau du bulbe du détendeur est d'environ -4°C, ce qui représente une surchauffe énorme de 16°C.

Il y a donc à coup sûr un manque de fluide dans l'évaporateur !

Le sous refroidissement est-il faible ?

Alors que le fluide condense à 33°C (température de bulle), le liquide sort du condenseur à 32°C ce qui représente un sous refroidissement anormalement faible de 1°C.

Nous pouvons donc affirmer qu'il manque également du liquide dans le condenseur.

Puisqu'il manque du liquide dans l'évaporateur et dans le condenseur, il est évident qu'il y a un manque de fluide dans l'installation.

Il vous reste à déterminer à quel(s) endroit(s) il y a une fuite et si vous n'en trouvez pas, c'est que le manque de charge a pour origine une fausse manœuvre provoquée par un technicien venu précédemment sur l'installation.

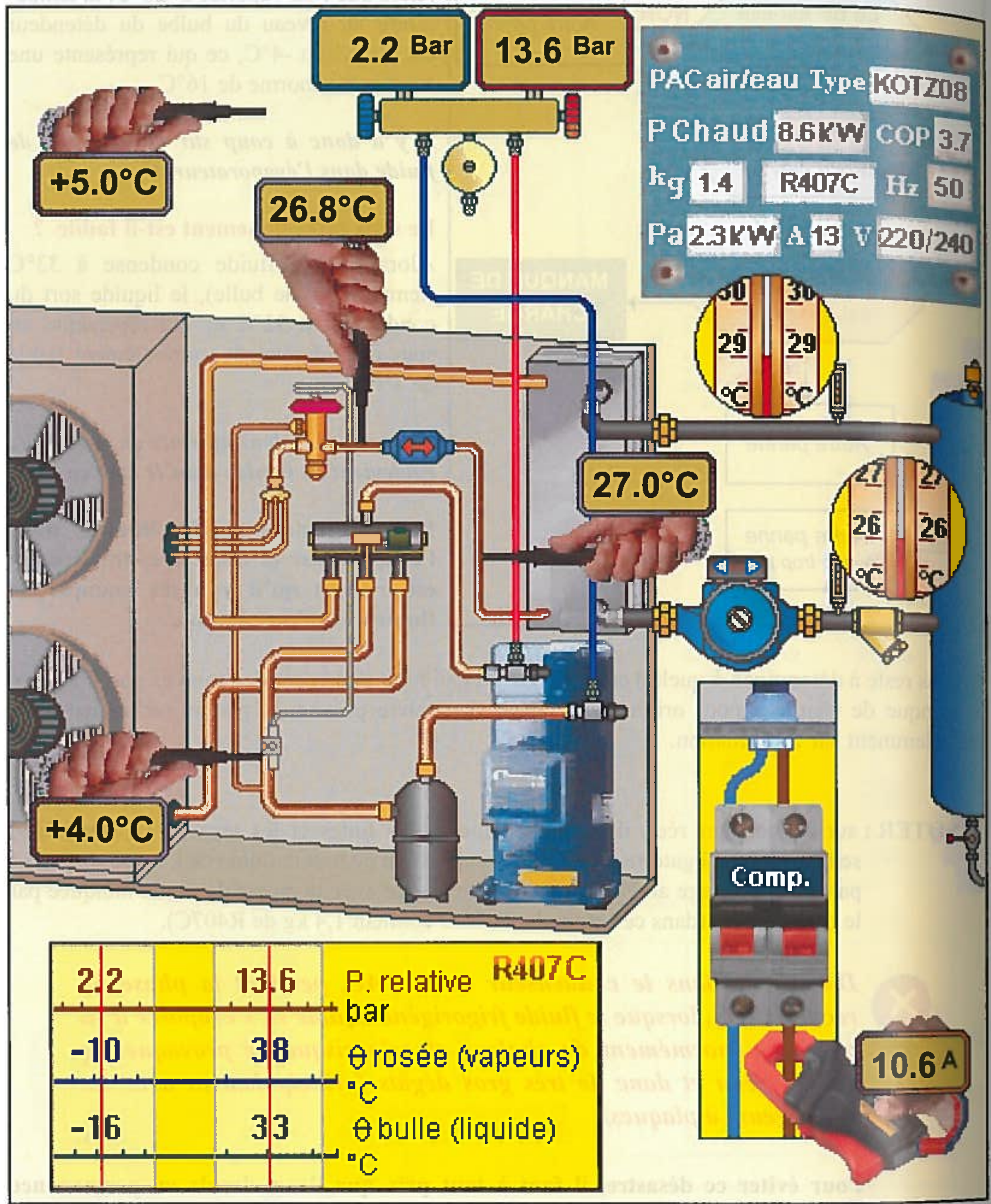
A NOTER : sur un chantier réel, il va falloir trouver les fuites et les réparer. Le dépannage se terminera obligatoirement par la récupération de tout le fluide de l'installation puis par un léger tirage au vide suivi d'une recharge avec la masse de fluide indiquée par le constructeur (dans cet exemple, la PAC contient 1,4 kg de R407C).

DANGER : dans le condenseur de la PAC, pendant la phase de récupération, lorsque le fluide frigorigène liquide va s'évaporer il va absorber énormément de chaleur et cela risque de provoquer le gel de l'eau et donc de très gros dégâts (principalement avec les échangeurs à plaques).

Pour éviter ce désastre, il faut à tout prix que l'eau circule en permanence pendant toute la durée de la récupération du fluide : il est donc impératif de faire tourner les circulateurs pendant la récupération ***(les méthodes de récupération sont expliquées des pages 413 à 420.***

La nouvelle réglementation Européenne établit des règles très strictes en ce qui concerne le contrôle d'étanchéité des installations (voir le détail pages 282 et 283).

PAC AÉROTHERMIQUES : CORRECTION DU DÉPANNAGE n°2

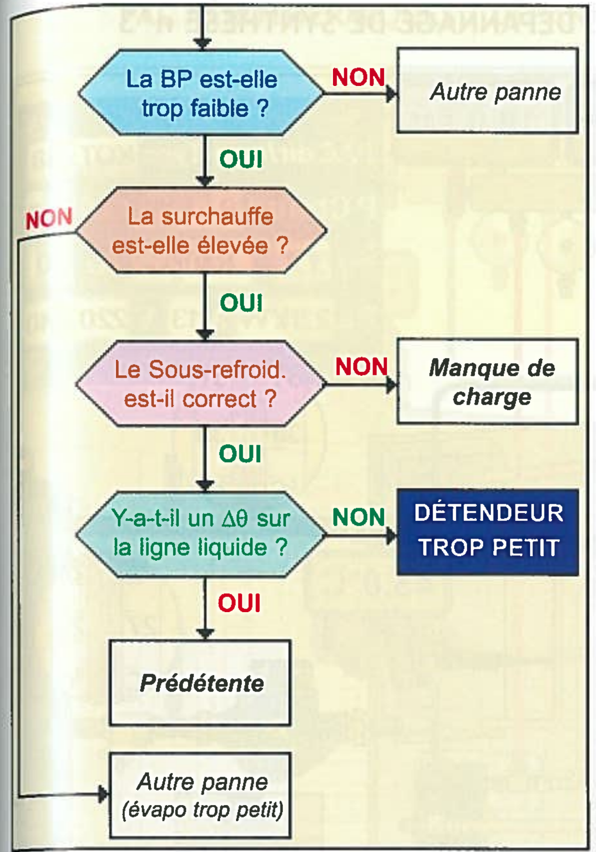


En nous référant à l'organigramme de la page ci-contre :

La BP est-elle trop faible ?

Avec 5°C extérieur, la température d'évaporation est de -10°C (on doit utiliser la température de rosée).

Ce delta T total très important de 15°C (au lieu d'une dizaine de °C en fonctionnement normal) indique sans aucun doute possible une panne BP.



La surchauffe est-elle élevée ?

Alors que l'on vaporise à -10°C, la température au niveau du bulbe du détendeur est d'environ +4°C, ce qui représente une surchauffe énorme de 14°C.

Il y a donc à coup sûr un manque de fluide dans l'évaporateur !

Le sous refroidissement est-il correct ?

Alors que le fluide se condense à 33°C (température de bulle), le liquide sort du condenseur à 27°C ce qui représente un sous refroidissement tout à fait correct de 6°C.

Nous pouvons donc affirmer qu'il y a bien du liquide dans le condenseur.

Mais alors, puisqu'il qu'il y a du liquide dans le condenseur, pourquoi n'y en a-t-il pas suffisamment dans l'évaporateur ?

Il y a forcément quelque chose qui empêche le liquide de circuler normalement entre le condenseur et l'évaporateur :

Soit il y a une prédétente sur la ligne liquide, soit c'est un problème de détendeur trop petit.

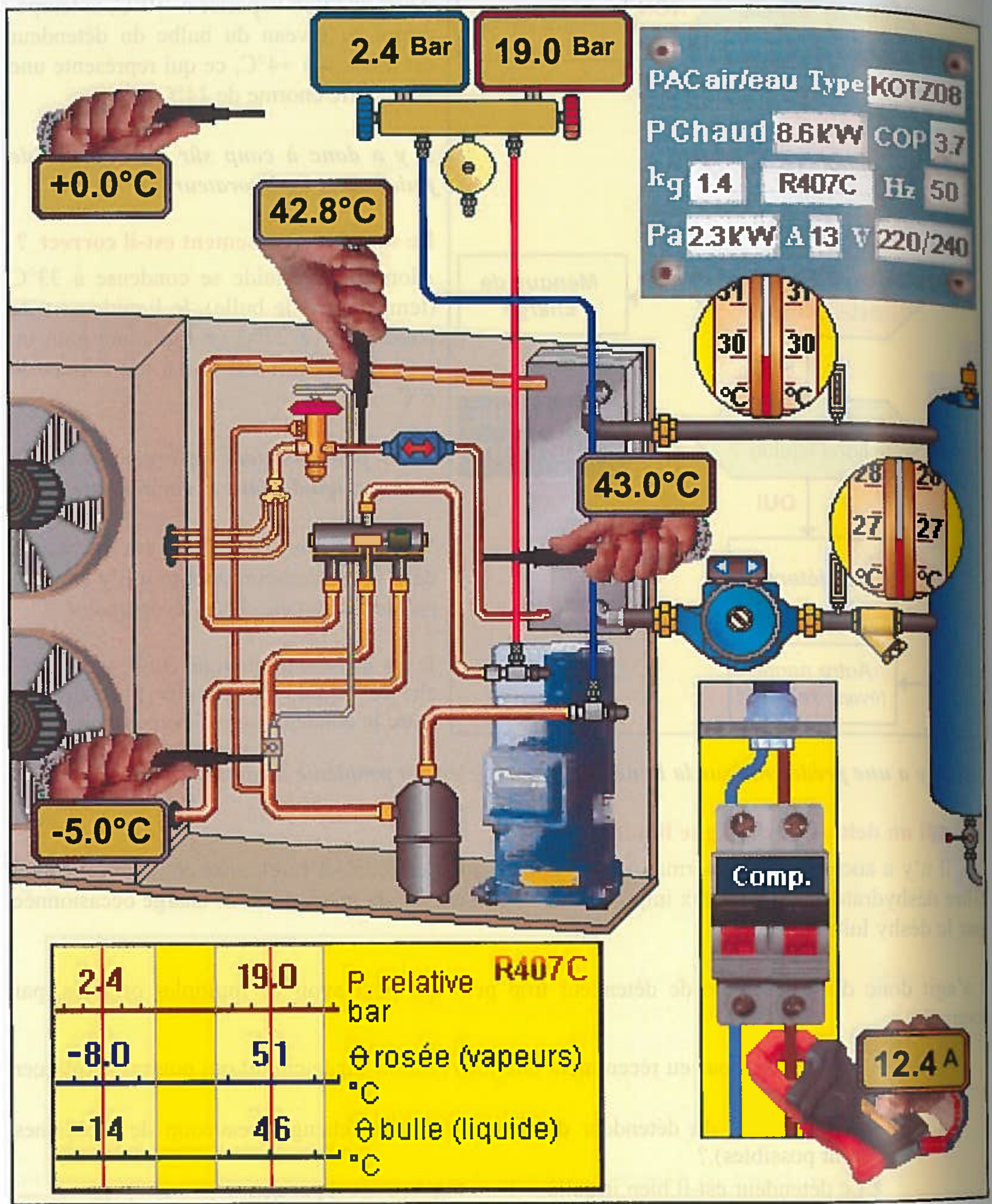
Y-a-t-il un delta T sur la ligne liquide ?

Ici, il n'y a aucun delta T anormal sur la ligne liquide (les 0,2°C d'écart entre entrée et sortie du filtre déshydrateur sont dus aux imprécisions de mesure et à la petite perte de charge occasionnée par le déshy lui-même).

Il s'agit donc d'un problème de détendeur trop petit qui peut avoir de multiples origines, par exemple :

- N'y-aurait-il pas eu récemment une intervention sur le circuit qui pourrait expliquer le problème?
- S'agit-il bien du détendeur d'origine (s'il a été changé, beaucoup de problèmes sont possibles).?
- Le détendeur est-il bien installé et bien réglé (n'est-il pas fermé à fond ?) ?
- La puissance du détendeur correspond-t-elle à la puissance frigorifique nécessaire ?
- Le fluide frigorigène indiqué sur le détendeur correspond-t-il au fluide utilisé dans l'installation ?

De très nombreux autres problèmes de détendeur trop petit sont analysés en détails dans le manuel du Dépanneur (1387 pages en couleurs, du même auteur).

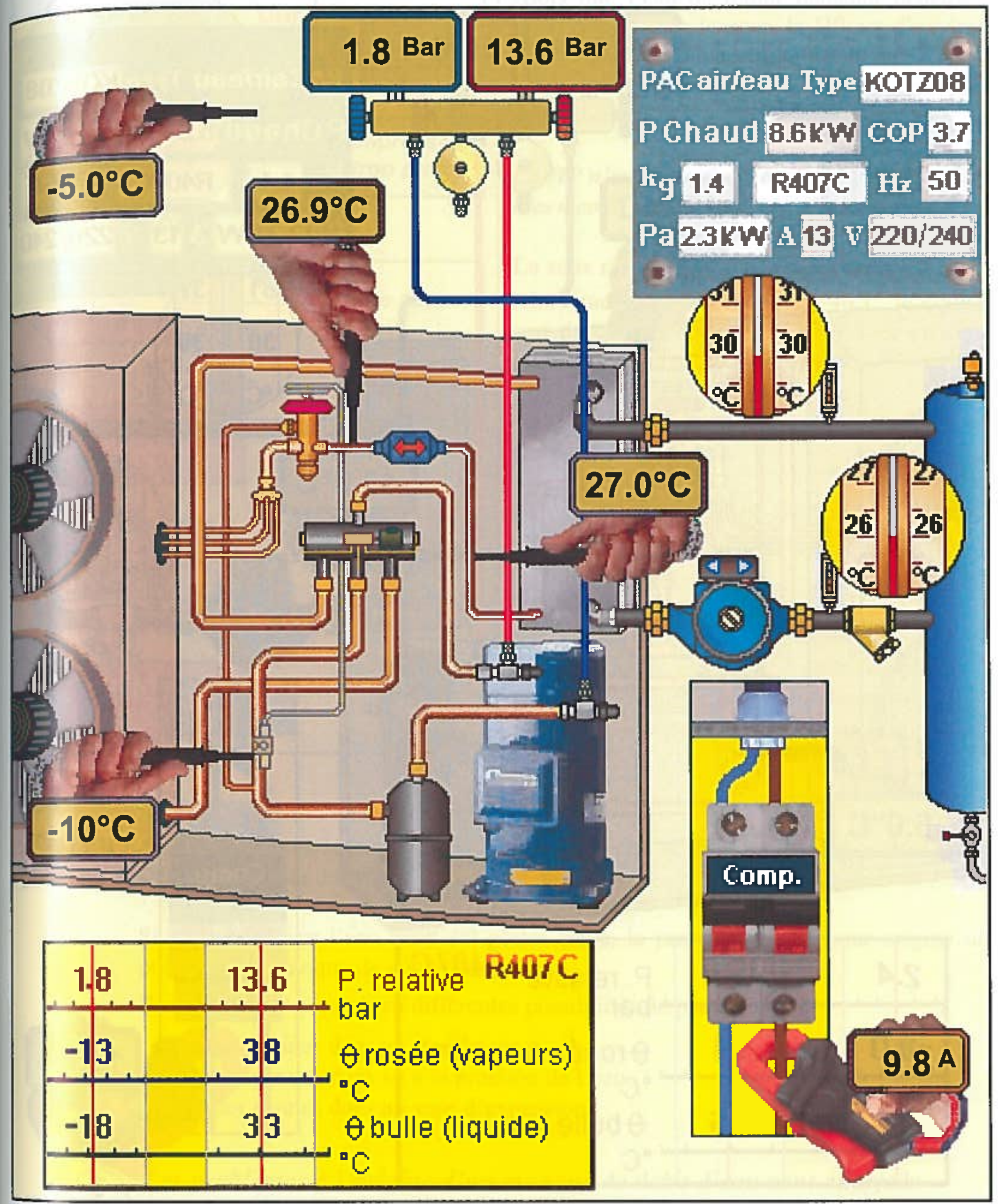


Vous êtes appelé en dépannage sur cette PAC alimentant un plancher chauffant.

En arrivant sur le chantier, vous avez monté vos manos, provoqué un dégivrage et vous êtes allé discuter quelques minutes avec le client pendant que l'installation dégivre et se met en régime.

En fonction des relevés effectués ensuite, que diagnostiquez-vous ?

Correction page 612

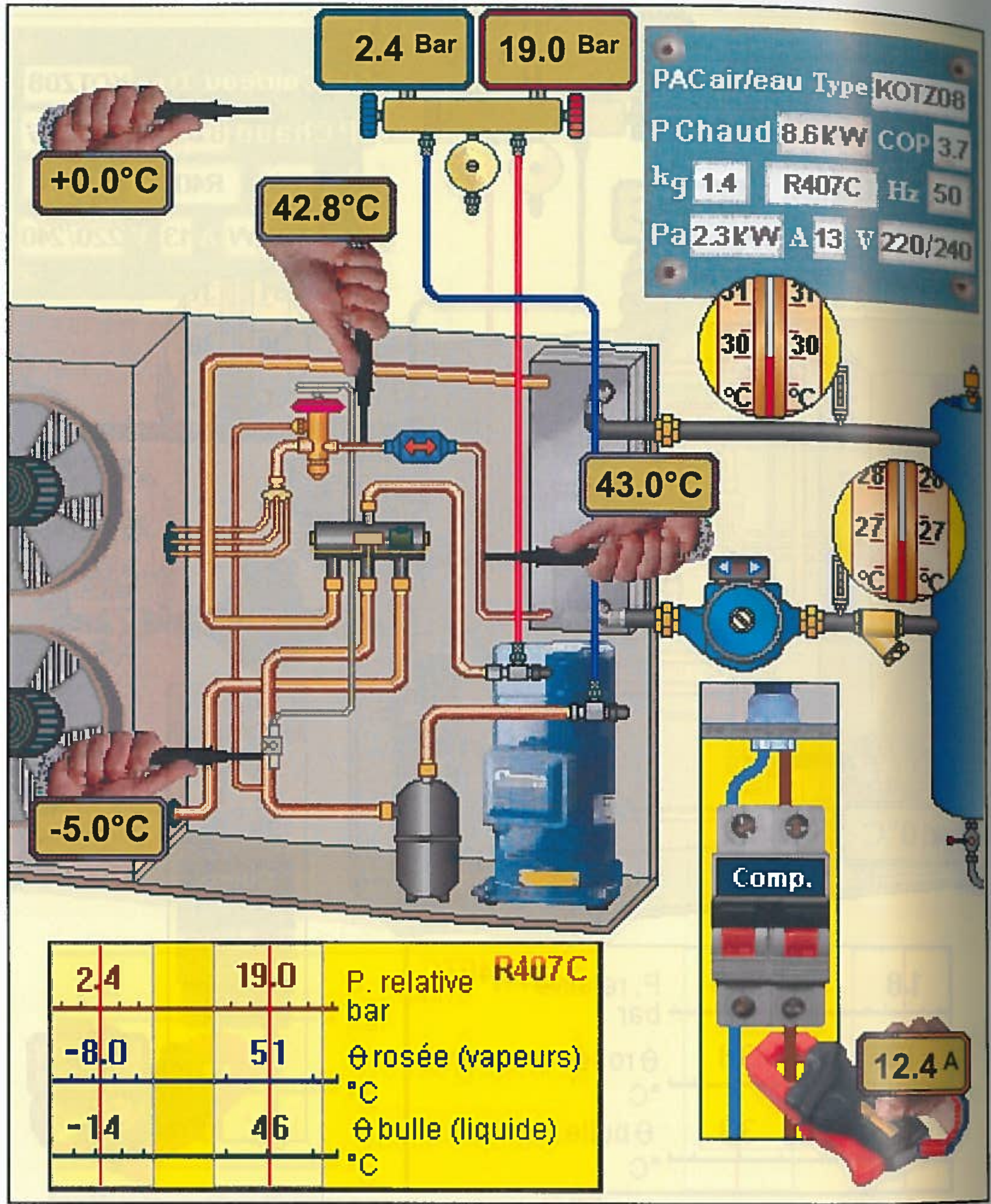


Vous êtes appelé en dépannage sur cette PAC alimentant un plancher chauffant.

En arrivant sur le chantier, vous avez monté vos manos, provoqué un dégivrage et vous êtes allé discuter quelques minutes avec le client pendant que l'installation dégivre et se met en régime.

En fonction des relevés effectués ensuite, que diagnostiquez-vous ?

Correction page 614

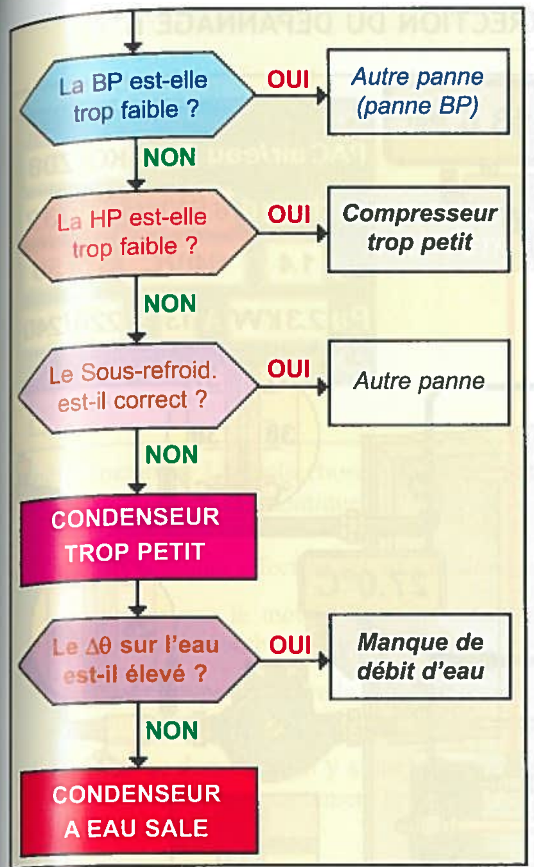


En nous référant à l'organigramme de la page ci-contre :

La BP est-elle trop faible ?

Avec 0°C extérieur, la température d'évaporation est de -8°C (on doit utiliser la température de rosée).

Ce delta T total plutôt faible de 8°C (au lieu d'une dizaine de °C en fonctionnement normal) indique sans aucun doute possible qu'il ne s'agit pas d'une panne BP.



La HP est-elle trop faible ?

Alors que l'eau de retour plancher pénètre à 27°C dans le condenseur, la HP est d'environ 46°C (température de bulle), soit un Delta T total très important de 46 – 27 = 19°C (soit près du double par rapport à la normale).

La HP n'est donc pas trop faible et nous sommes à coup sûr en présence d'une panne HP !

Le sous refroidissement est-il correct ?

Alors que le fluide condense à 46°C, le liquide sort du condenseur à 43°C, soit avec un sous refroidissement plutôt faible de 46 - 43 = 3°C.

Nous sommes donc en présence de la panne du condenseur trop petit.

Le delta T sur l'eau est-il élevé ?

L'eau pénètre dans le condenseur à 27°C et en ressort à 30°C.

Ce Delta T relativement faible indique que le condenseur est encrassé, entartré ou emboué (On peut éventuellement faire un contrôle par la vanne de vidange en bas de la bouteille.

A NOTER : Avec 0°C dehors, la température de l'eau de départ devrait être proche de 35°C et le Delta T sur l'eau devrait être voisin de 4 à 5°C.

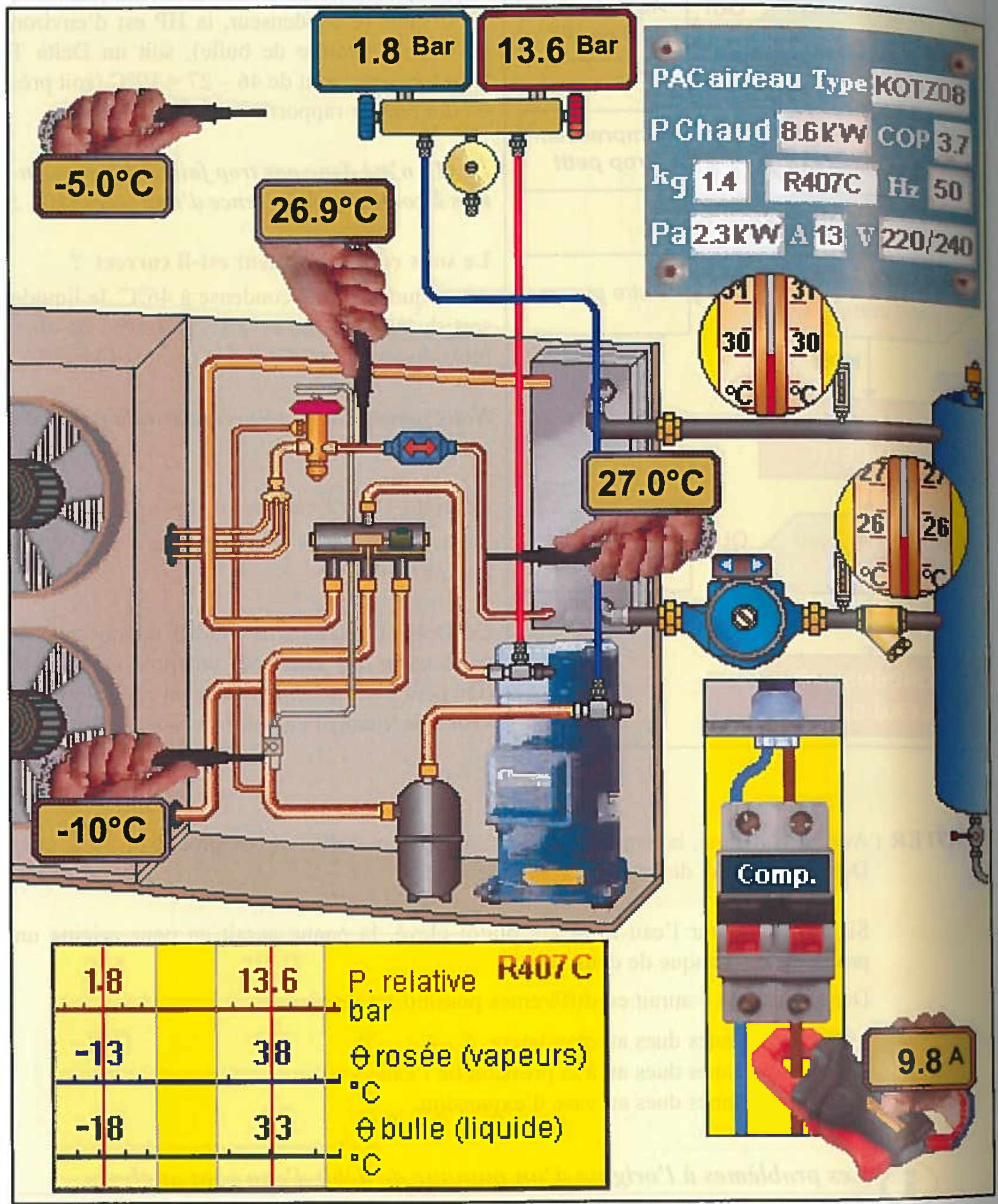
Si le Delta T sur l'eau avait été plutôt élevé, la panne aurait eu pour origine un problème de manque de débit d'eau.

Dans ce cas, il y aurait eu différentes possibilités de pannes :

- Les pannes dues au circulateur.
- Les pannes dues au à la pression de l'eau.
- Les pannes dues au vase d'expansion.

Les problèmes à l'origine d'un manque de débit d'eau sont analysés en détails dans le manuel du Dépanneur (1387 pages en couleurs, du même auteur).

PAC AÉROTHERMIQUES : CORRECTION DU DÉPANNAGE n°4

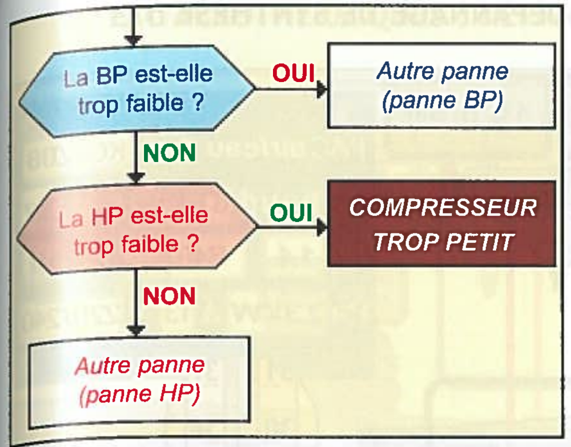


En nous référant à l'organigramme de la page ci-contre :

La BP est-elle trop faible ?

Avec -5°C extérieur, la température d'évaporation est de -13°C (on doit utiliser la température de rosée).

Ce delta T total plutôt faible de 8°C (au lieu d'une dizaine de °C en fonctionnement normal) indique sans aucun doute possible qu'il ne s'agit pas d'une panne BP.



La HP est-elle trop faible ?

Alors que l'eau de retour plancher pénètre à 27°C dans le condenseur, la HP est d'environ 33°C (température de bulle), soit un Delta T total plutôt faible de 33 – 26 = 7°C (au lieu d'une dizaine de °C).

La HP étant plutôt faible et la BP élevée nous sommes à coup sûr en présence de la panne du compresseur trop petit.

Pour rappel, les compresseurs utilisés en climatisation de confort, quelle que soit leur technologie, sont tous de type hermétique et donc irréparables. La seule chose à faire est alors de remplacer le compresseur déficient par un modèle rigoureusement identique.

Auparavant, il faudra effectuer les vérifications suivantes :

- Vérifier que le moteur du compresseur fonctionne (le meilleur moyen est de mesurer l'intensité absorbée).
- Avec ce type d'appareils, le compresseur est peut être en parfait état mais le tiroir de la vanne à quatre voies peut être bloqué en position intermédiaire.

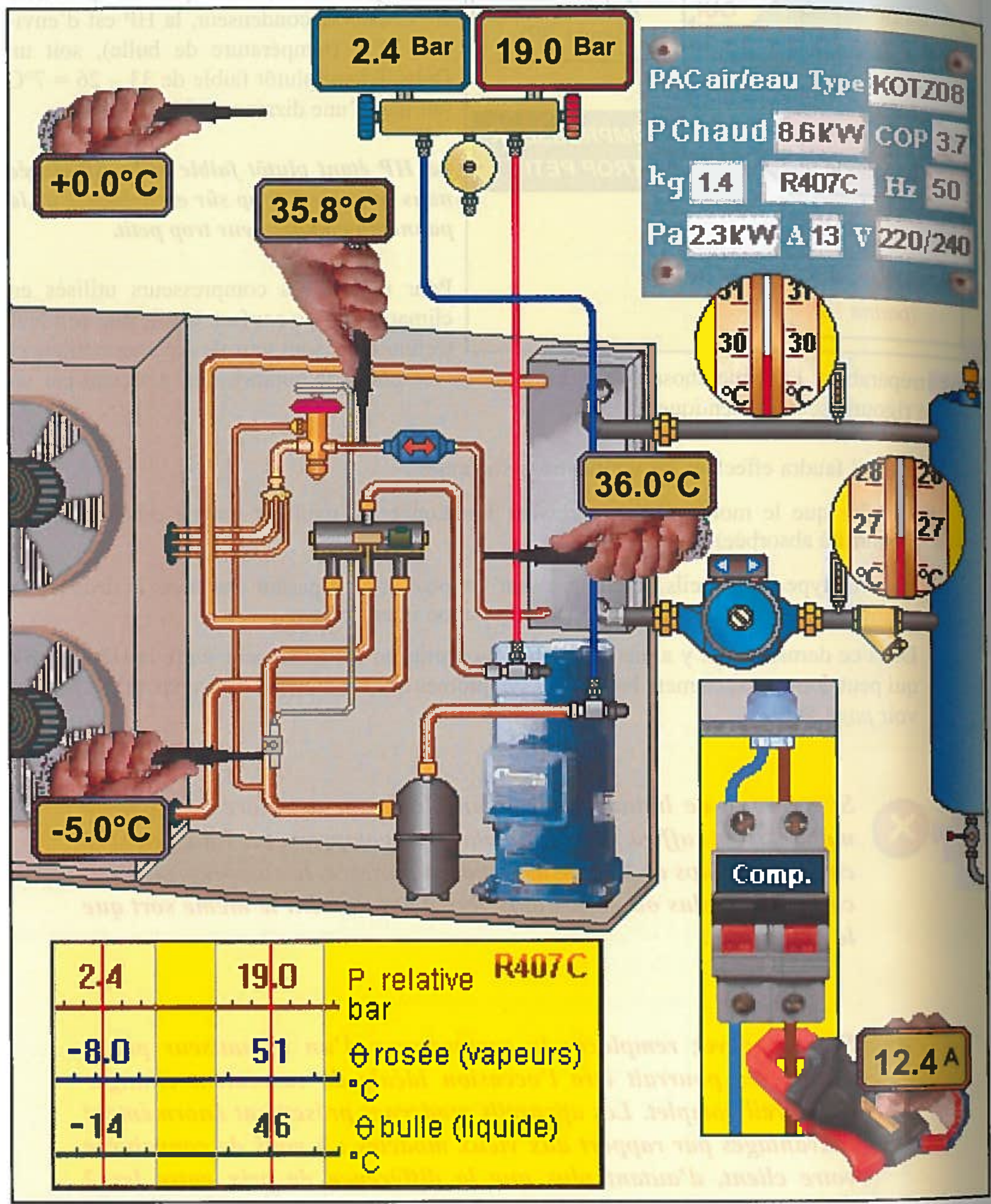
  Dans ce dernier cas,il y a une communication plus ou moins franche entre la HP et la BP qui peut donner exactement les mêmes symptômes qu'un compresseur trop petit (au besoin, voir *page 590*).

Si un coup de liquide a cassé un clapet ou détérioré une palette mobile, il ne suffira pas de remplacer le compresseur. En effet, si la cause des coups de liquide n'est pas supprimée, le compresseur neuf connaîtra à plus ou moins long terme exactement le même sort que le précédent !

Si vous devez remplacer le compresseur d'un climatiseur plutôt ancien, ce pourrait être l'occasion idéale de carrément changer l'appareil complet. Les appareils modernes présentent énormément d'avantages par rapport aux vieux modèles : à vous de convaincre votre client, d'autant plus que la différence de prix entre les 2 interventions risque d'être minime.

Les problèmes à l'origine de la panne du compresseur trop petit sont analysés en détails dans le manuel du Dépanneur (1387 pages en couleurs, du même auteur).

PAC AÉROTHERMIQUES : DÉPANNAGE DE SYNTHÈSE n°5



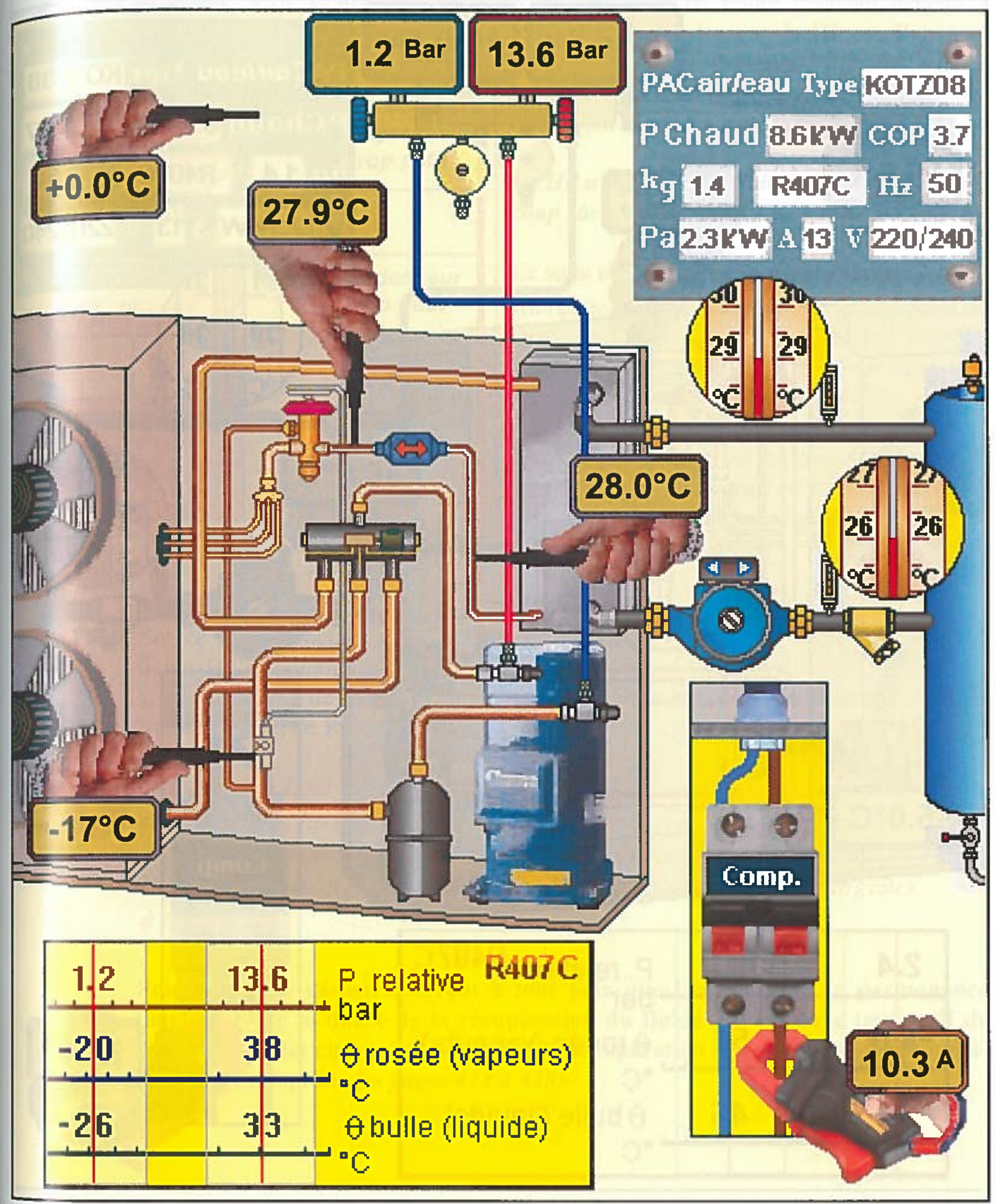
Vous êtes appelé en dépannage sur cette PAC alimentant un plancher chauffant.

En arrivant sur le chantier, vous avez monté vos manos, provoqué un dégivrage et vous êtes allé discuter quelques minutes avec le client pendant que l'installation dégivre et se met en régime.

En fonction des relevés effectués ensuite, que diagnostiquez-vous ?

Correction page 618

PAC AÉROTHERMIQUES : DÉPANNAGE DE SYNTHÈSE n°6



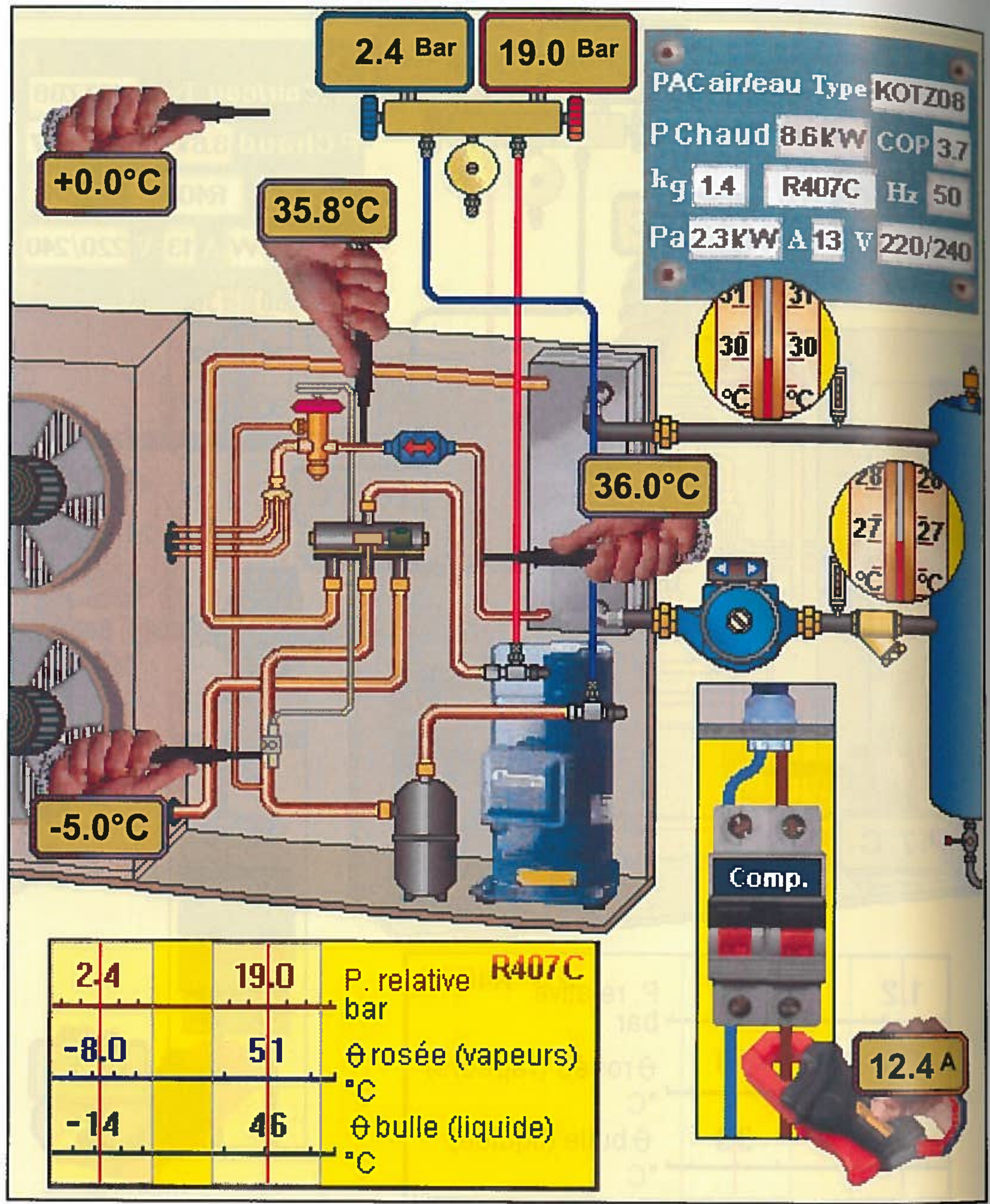
Vous êtes appelé en dépannage sur cette PAC alimentant un plancher chauffant.

En arrivant sur le chantier, vous avez monté vos manos, provoqué un dégivrage et vous êtes allé discuter quelques minutes avec le client pendant que l'installation dégivre et se met en régime.

En fonction des relevés effectués ensuite, que diagnostiquez-vous ?

Correction page 620

PAC AÉROTHERMIQUES : CORRECTION DU DÉPANNAGE n°5

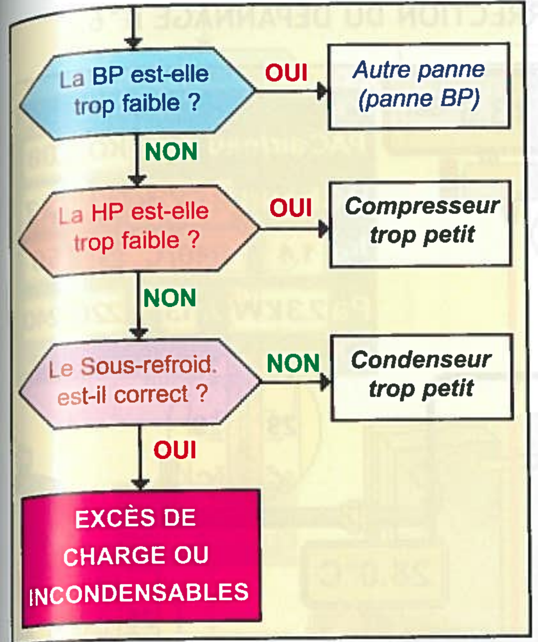


En nous référant à l'organigramme de la page ci-contre :

La BP est-elle trop faible ?

Avec 0°C extérieur, la température d'évaporation est de -8°C (on doit utiliser la température de rosée).

Ce delta T total plutôt faible de 8°C (au lieu d'une dizaine de °C en fonctionnement normal) indique sans aucun doute possible qu'il ne s'agit pas d'une panne BP.



La HP est-elle trop faible ?

Alors que l'eau de retour plancher pénètre à 27°C dans le condenseur, la HP est d'environ 46°C (température de bulle), soit un Delta T total très important de 46 – 27 = 19°C (près du double par rapport à la normale).

La HP n'est donc pas faible et nous sommes à coup sûr en présence d'une panne HP !

Le sous refroidissement est-il correct ?

Alors que la température de condensation est de 46°C, le liquide sort du condenseur à 36°C, soit avec un excellent sous refroidissement de 46 - 36 = 10°C.

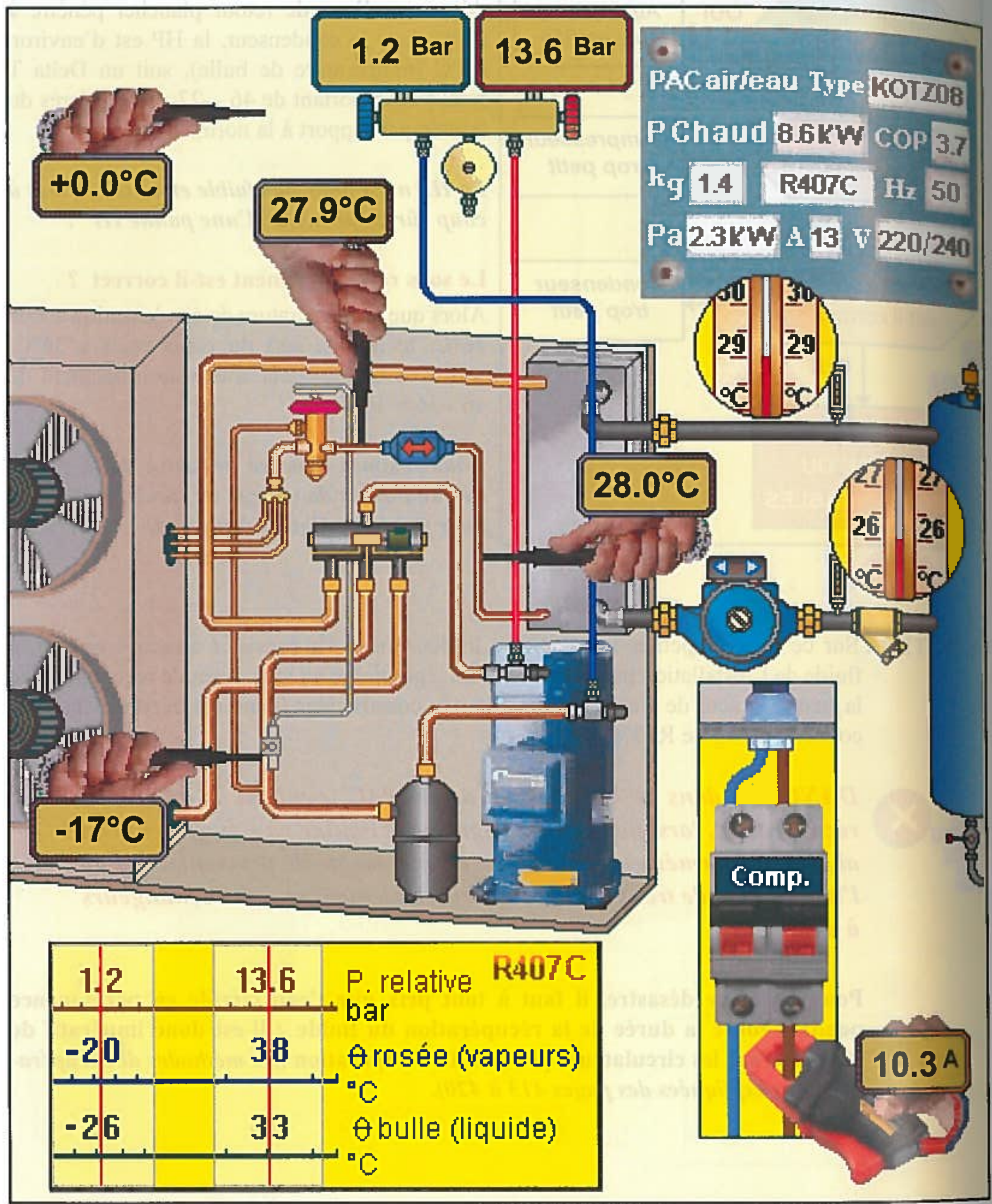
Nous sommes donc en présence de la panne soit de l'excès de charge en fluide, soit d'une forte présence d'incondensables.

A NOTER : Sur ce type de petites installations, le dépannage va consister à récupérer tout le fluide de l'installation puis à effectuer un léger tirage au vide avant de recharger avec la masse exacte de fluide indiquée par le constructeur (dans cet exemple, la PAC contient 1,4 kg de R407C).

DANGER : dans le condenseur de la PAC, pendant la phase de récupération, lorsque le fluide frigorigène liquide va s'évaporer, il va absorber énormément de chaleur et cela risque de provoquer gel de l'eau et donc de très gros dégâts (principalement avec les échangeurs à plaques).

Pour éviter ce désastre, il faut à tout prix que l'eau circule en permanence pendant toute la durée de la récupération du fluide : il est donc impératif de faire tourner les circulateurs pendant la récupération *(les méthodes de récupération sont expliquées des pages 413 à 420).*

La réglementation Européenne établit des règles très strictes en ce qui concerne le contrôle d'étanchéité des installations (voir le détail pages 282 et 283).

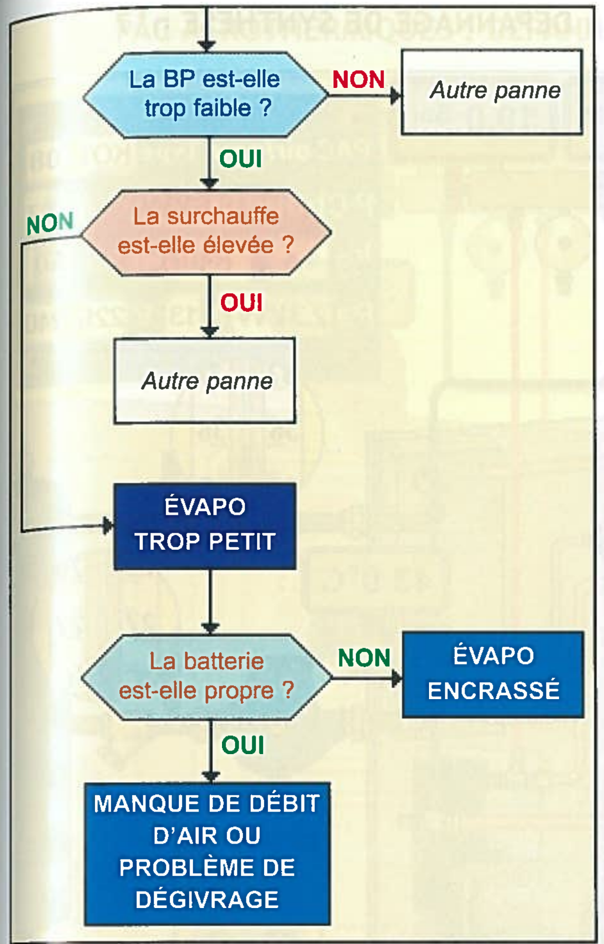


En nous référant à l'organigramme de la page ci-contre :

La BP est-elle trop faible ?

Avec 0°C extérieur, la température d'évaporation est de -20°C (on doit utiliser la température de rosée).

Ce delta T total très important de 20°C (au lieu d'une dizaine de °C en fonctionnement normal) indique sans aucun doute possible une panne BP.



La surchauffe est-elle élevée ?

Avec une température d'évaporation de -20°C, on mesure au bulbe du détendeur -17°C, soit une surchauffe plutôt correcte vu l'emplacement du bulbe de -17 - (-20) = 3°C.

Alors qu'il y a une panne BP, cette surchauffe indique à l'évidence un problème d'évaporateur trop petit dont il va falloir déterminer l'origine exacte :

- Manque de débit d'air ?
- Problème de dégivrage ?
- Évaporateur encrassé ?

Arrivé à ce stade du dépannage, le plus rapide est de vérifier l'état de la batterie extérieure.

- La batterie est-elle sérieusement encrassée ?
- De nombreuses ailettes sont-elles écrasées ?

Si la batterie est très givrée, ce n'est pas normal puisque vous avez provoqué un dégivrage il y a une quinzaine de minutes.

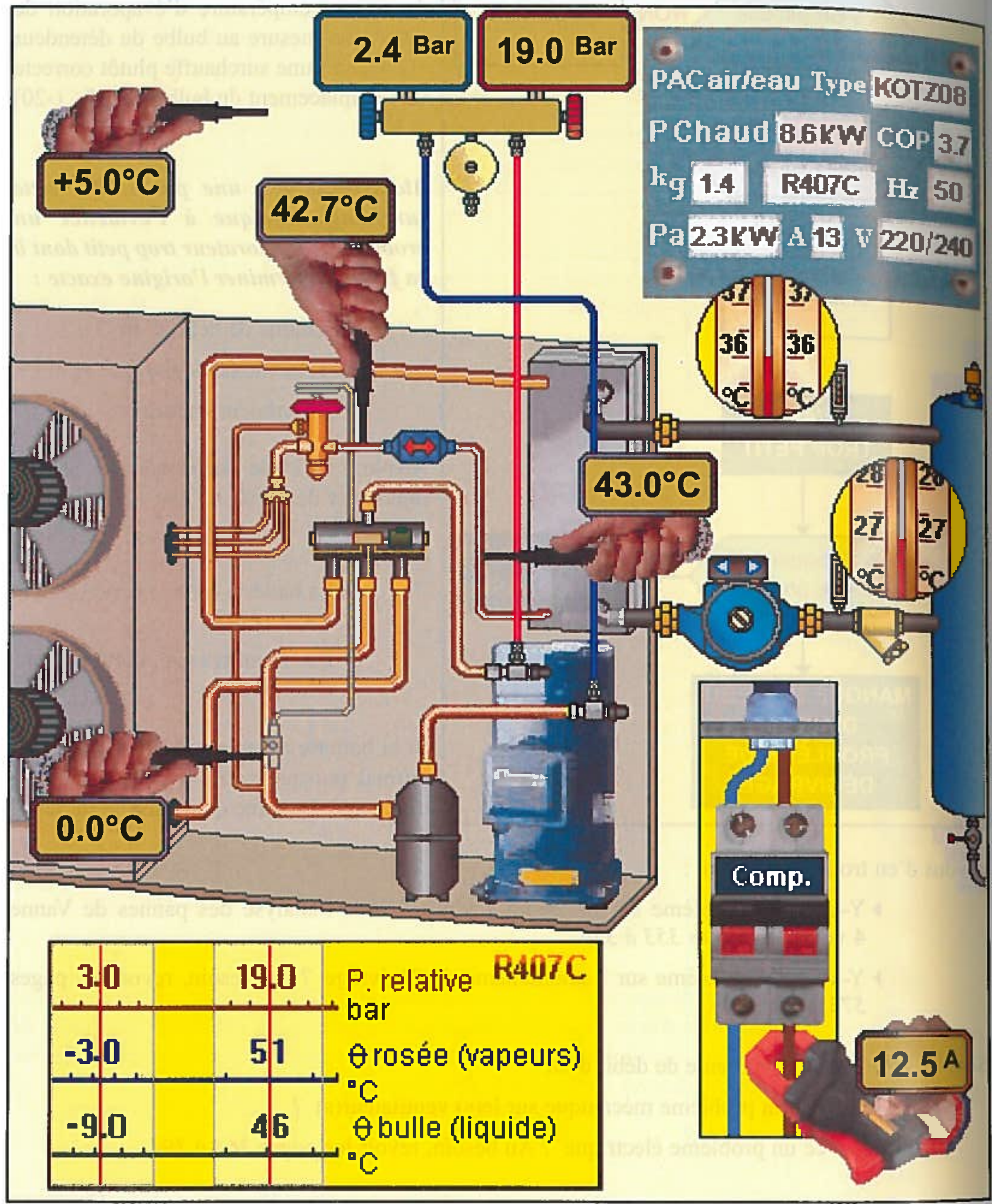
A vous d'en trouver la raison :

- Y-a-t-il un problème sur la Vanne 4 voies ? Voir l'analyse des pannes de Vanne 4 voies des *pages 353 à 356.*
- Y-a-t-il un problème sur l'automatisme de dégivrage ? Au besoin, revoir les pages *575 à 582.*

Si vous suspectez un problème de débit d'air :

- Y-a-t-il un problème mécanique sur le(s) ventilateur(s) ?
- Est-ce un problème électrique ? Au besoin, revoir les *pages 364 à 394.*

PAC AÉROTHERMIQUES : DÉPANNAGE DE SYNTHÈSE n°7



3.0		19.0	P. relative bar	R407C
-3.0		51	θ rosée (vapeurs) °C	
-9.0		46	θ bulle (liquide) °C	

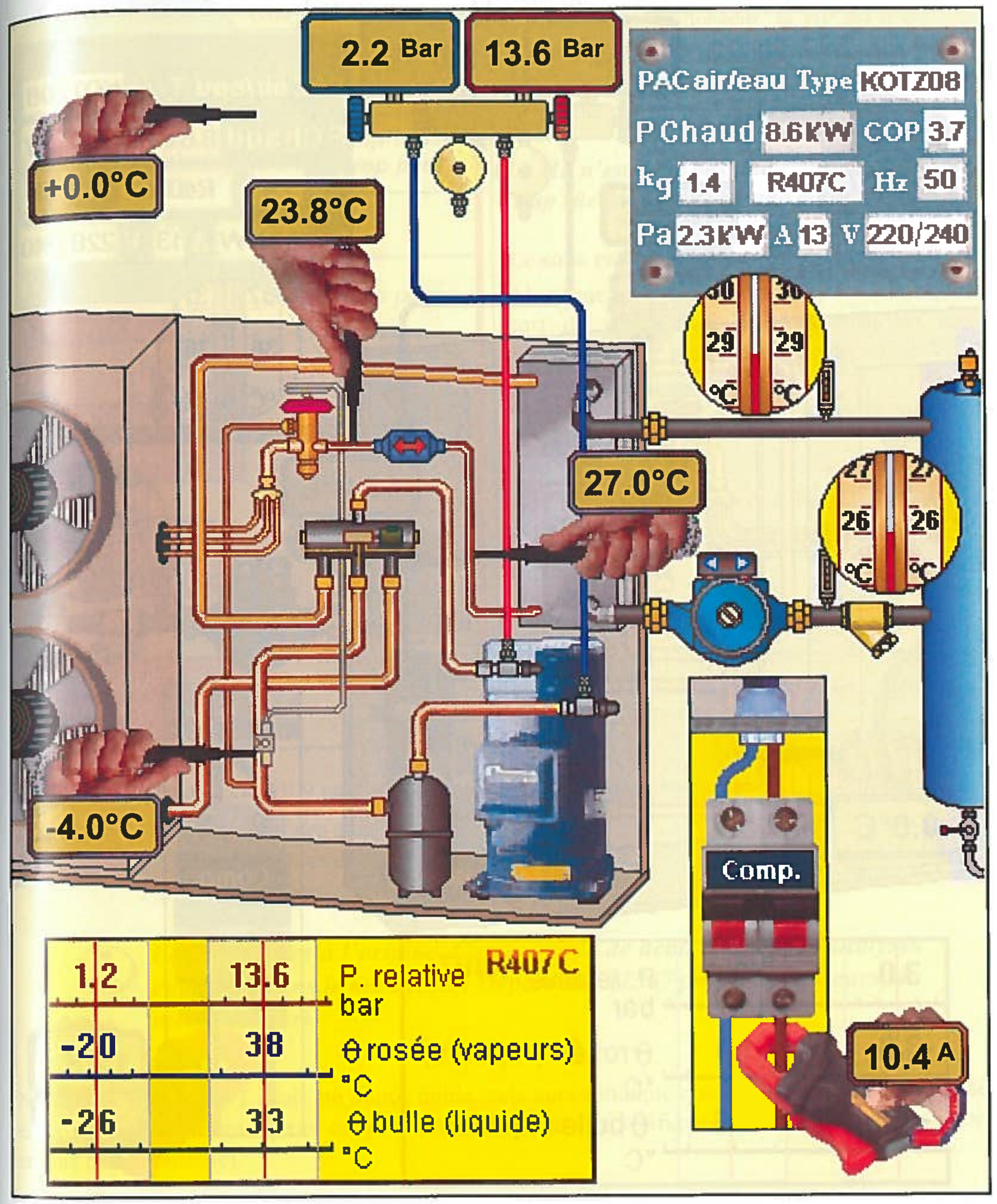
Vous êtes appelé en dépannage sur cette PAC alimentant un plancher chauffant.

En arrivant sur le chantier, vous avez monté vos manos, provoqué un dégivrage et vous êtes allé discuter quelques minutes avec le client pendant que l'installation dégivre et se met en régime.

En fonction des relevés effectués ensuite, que diagnostiquez-vous ?

Correction page 624

PAC AÉROTHERMIQUES : DÉPANNAGE DE SYNTHÈSE n°8



1.2		13.6	P. relative bar	R407C
-20		38	θ rosée (vapeurs) °C	
-26		33	θ bulle (liquide) °C	

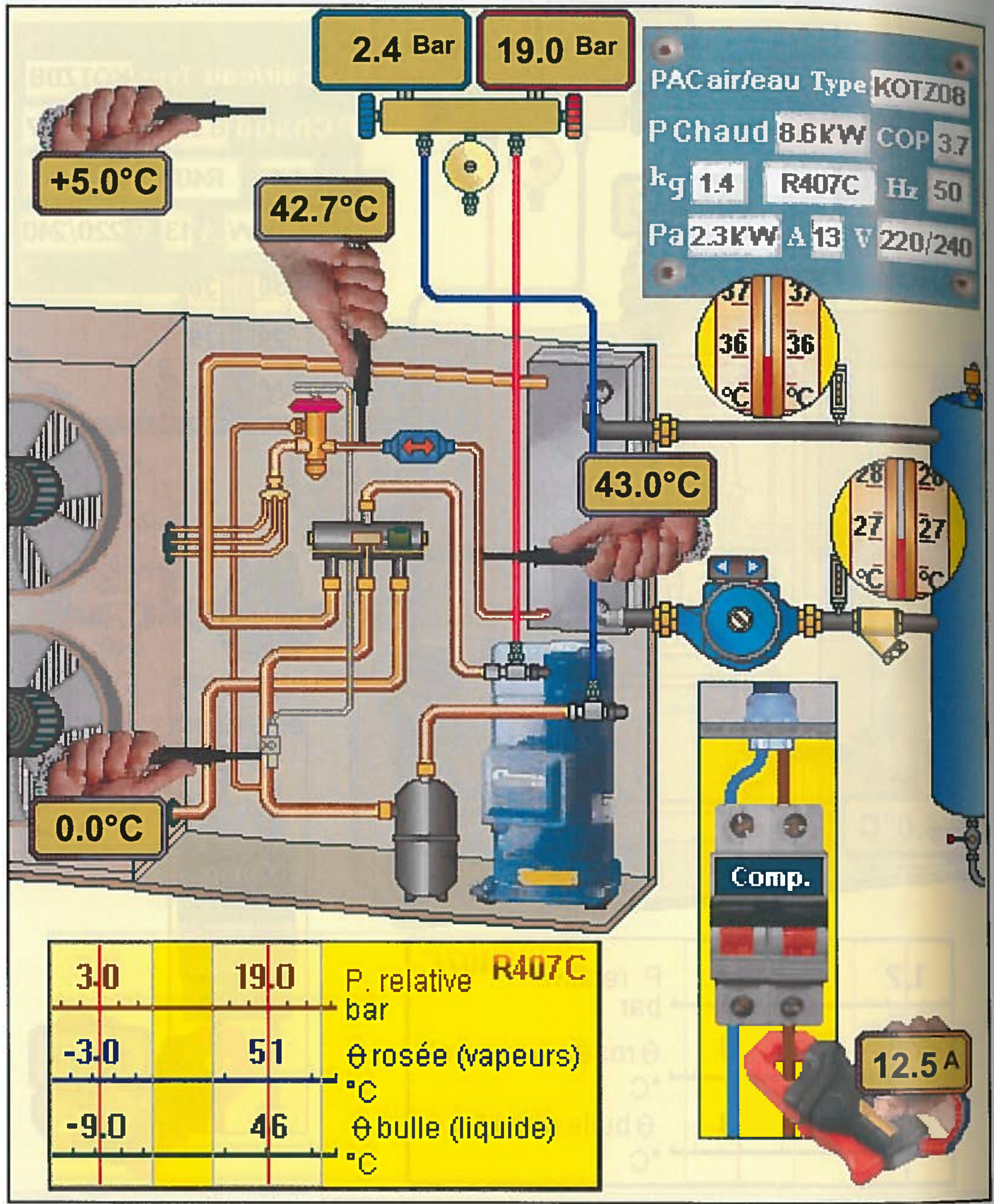
Vous êtes appelé en dépannage sur cette PAC alimentant un plancher chauffant.

En arrivant sur le chantier, vous avez monté vos manos, provoqué un dégivrage et vous êtes allé discuter quelques minutes avec le client pendant que l'installation dégivre et se met en régime.

Et maintenant, en fonction de ces autres relevés, que diagnostiquez-vous ?

Correction page 626

PAC AÉROTHERMIQUES : CORRECTION DU DÉPANNAGE n°7

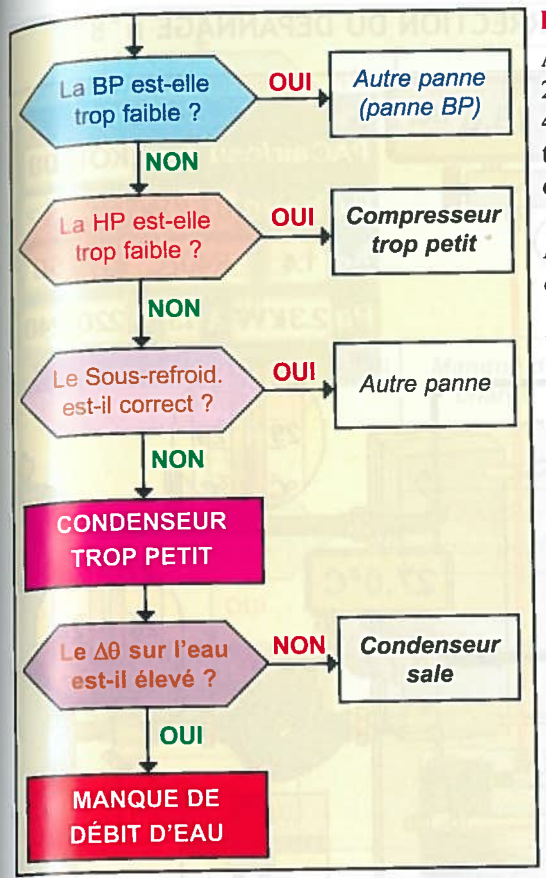


En nous référant à l'organigramme de la page ci-contre :

La BP est-elle trop faible ?

Avec 5°C extérieur, la température d'évaporation est de -3°C (on doit utiliser la température de rosée).

Ce delta T total plutôt faible de 8°C (au lieu d'une dizaine de °C en fonctionnement normal) indique sans aucun doute possible qu'il ne s'agit pas d'une panne BP.



La HP est-elle trop faible ?

Alors que l'eau de retour plancher pénètre à 27°C dans le condenseur, la HP est d'environ 46°C (température de bulle), soit un Delta T total très important de 46 – 27 = 19°C (soit près du double par rapport à la normale).

La HP n'est donc pas faible et nous sommes à coup sûr en présence d'une panne HP !

Le sous refroidissement est-il correct ?

Alors que le fluide condense à 46°C, le liquide sort du condenseur à 43°C, soit un sous refroidissement plutôt faible de 46 - 43 = 3°C.

Nous sommes donc en présence de la panne du condenseur trop petit.

Le delta T sur l'eau est-il élevé ?

L'eau pénètre dans le condenseur à 27°C et en ressort à 36°C.

Ce Delta T sur l'eau très élevé de 9°C (au lieu de 5 à 6°C en fonctionnement normal) indique sans aucun doute un problème de manque de débit d'eau.

Dans ce cas, il y aurait différentes possibilités de pannes :

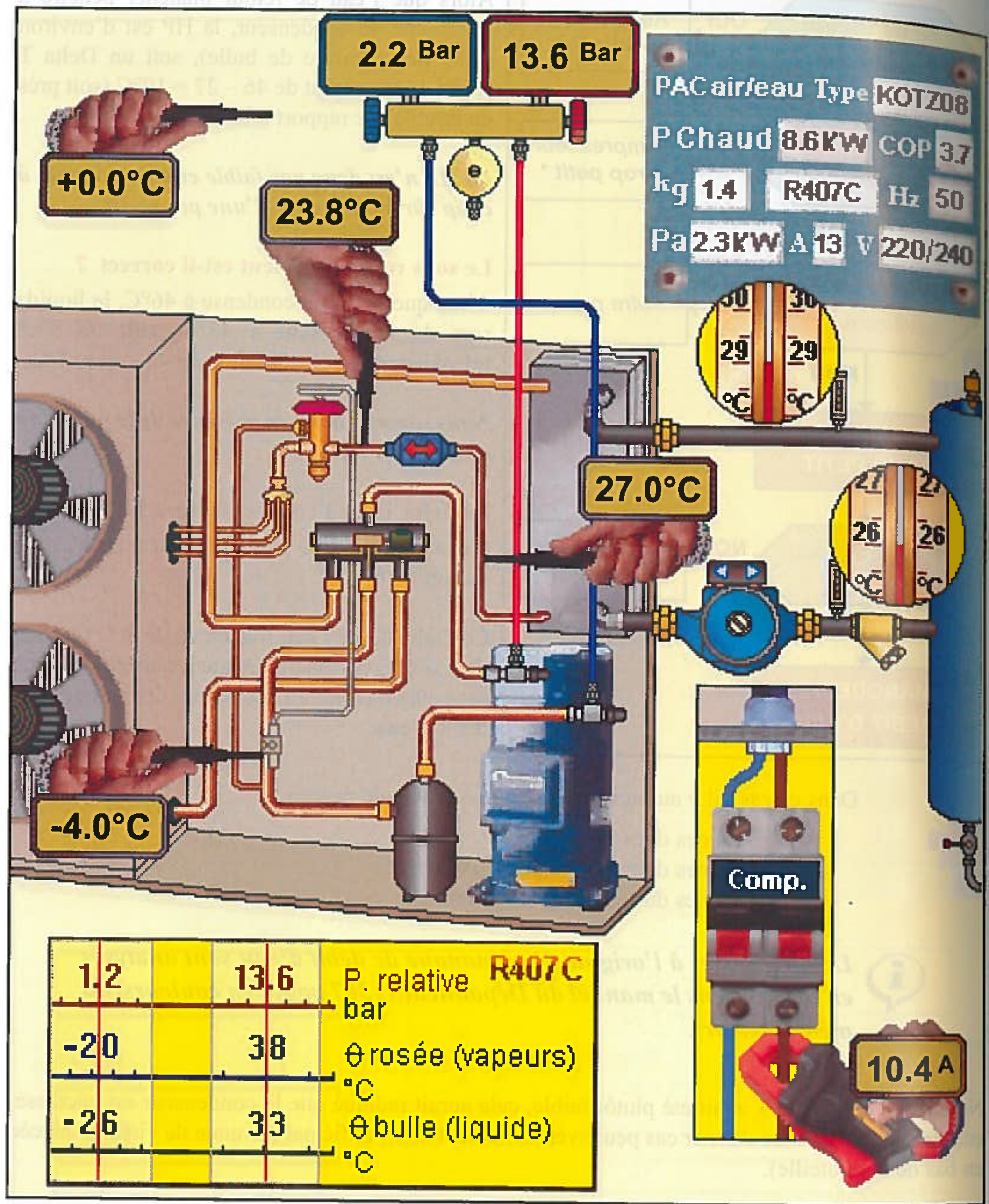
- Les pannes dues au circulateur.
- Les pannes dues au à la pression de l'eau.
- Les pannes dues au vase d'expansion.

Les problèmes à l'origine d'un manque de débit d'eau sont analysés en détails dans le manuel du Dépanneur (1387 pages en couleurs, du même auteur).

Notez que si le Delta T avait été plutôt faible, cela aurait indiqué que le condenseur est encrassé, entartré ou emboué (ce dernier cas peut éventuellement être vérifié par la vanne de vidange placée en bas de la bouteille).

Lorsque vous recherchez une information ou un thème particulier, pensez à consulter l'index alphabétique en fin d'ouvrage.

PAC AÉROTHERMIQUES : CORRECTION DU DÉPANNAGE n°8

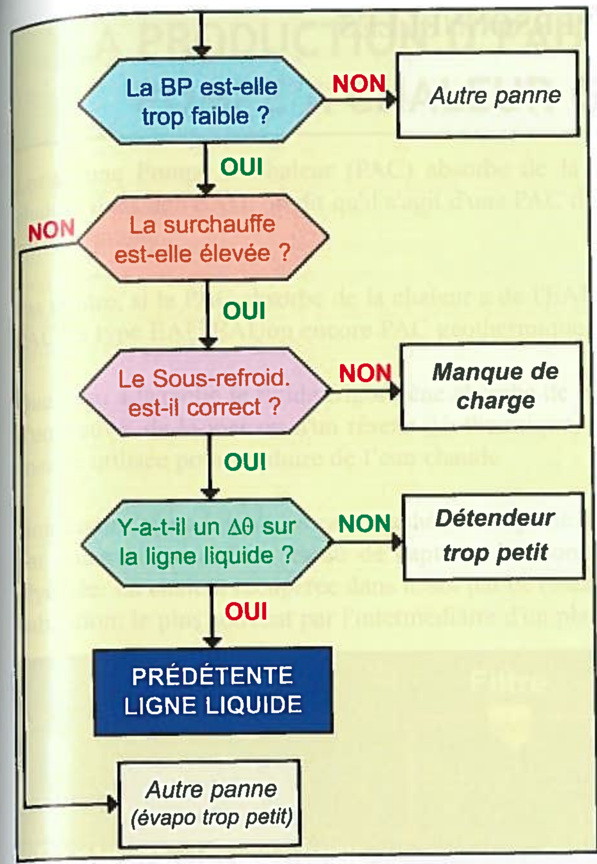


En nous référant à l'organigramme de la page ci-contre :

La BP est-elle trop faible ?

Avec 0°C extérieur, la température d'évaporation est de -20°C (on doit utiliser la température de rosée).

Ce delta T total très important de 20°C (au lieu d'une dizaine de °C en fonctionnement normal) indique sans aucun doute possible une panne BP.



La surchauffe est-elle élevée ?

Alors que l'on vaporise à -20°C, la température au niveau du bulbe du détendeur est d'environ -4°C, ce qui représente une surchauffe énorme de 16°C.

Il y a donc à coup sûr un manque de fluide dans l'évaporateur !

Le sous refroidissement est-il correct ?

Alors que le fluide se condense à 33°C (température de bulle), le liquide sort du condenseur à 27°C ce qui représente un sous refroidissement tout à fait correct de 6°C.

Nous pouvons donc affirmer qu'il y a bien du liquide dans le condenseur.

Mais alors, puisqu'il qu'il y a du liquide dans le condenseur, pourquoi n'y en a-t-il pas suffisamment dans l'évaporateur ?

Il y a forcément quelque chose qui empêche le liquide de circuler normalement entre le condenseur et l'évaporateur :

Soit il y a une prédétente sur la ligne liquide, soit c'est un problème de détendeur trop petit.

Y-a-t-il un delta T sur la ligne liquide ?

Entre la température de sortie du condenseur et celle mesurée à l'entrée du détendeur il y a effectivement une Delta T de plus de 3 °C probablement provoqué par un début de colmatage du déshydrateur.

Cette panne est toujours l'indice d'un circuit frigorifique très pollué (et donc sur lequel de nombreuses maladresses ont été commises, en particulier lors du montage ou d'interventions successives).

Aussi le dépanneur ne devra pas se contenter de remplacer le déshydrateur, mais il devra aussi procéder à un test préventif d'acidité de l'huile du compresseur.

Dans tous les cas il sera préférable, par mesure de sécurité, de remplacer le déshy colmaté par un modèle d'une capacité de déshydratation au moins équivalente mais possédant <u>en plus</u> une fonction anti-acides (attention, il s'agit ici d'un déshy bi-directionnel).

NOTES PERSONNELLES

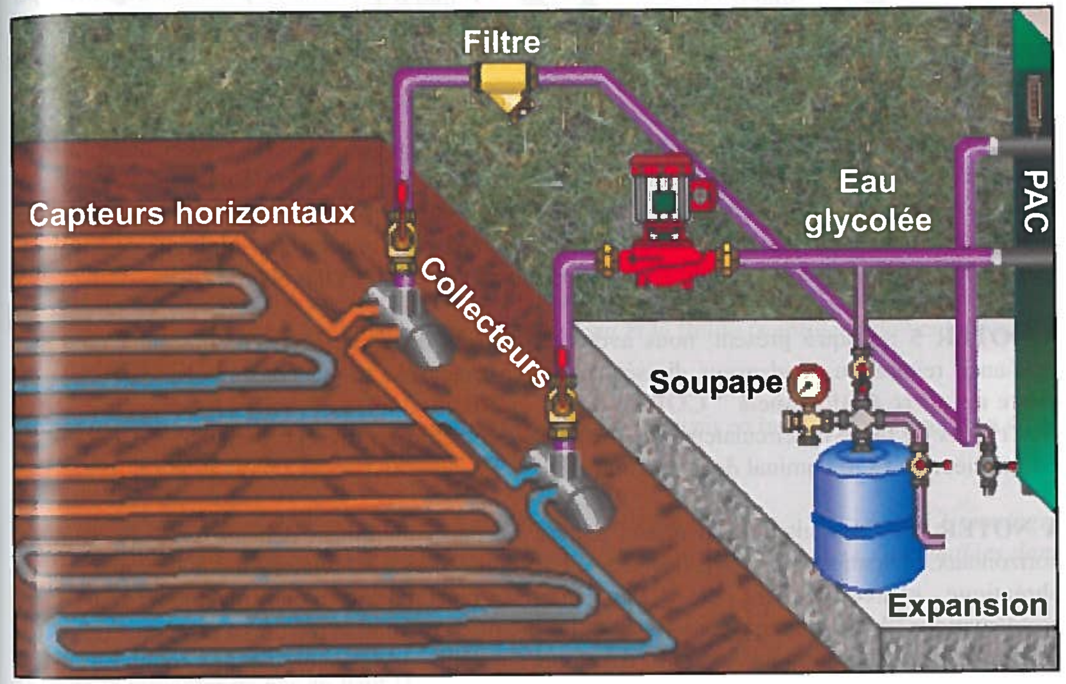
LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE PAR UNE POMPE A CHALEUR GÉOTHERMIQUE

Lorsqu'une Pompe à Chaleur (PAC) absorbe de la chaleur à de l'AIR et quelle rejette cette chaleur dans de l'EAU, on dit qu'il s'agit d'une PAC de type AIR/EAU, appelée couramment PAC aérothermique.

Par contre, si la PAC absorbe de la chaleur à de l'EAU et la rejette dans de L'EAU, il s'agit d'une PAC de type EAU/EAUou encore PAC géothermique.

Que l'eau à laquelle le fluide frigorigène absorbe de la chaleur provienne d'une nappe phréatique, d'un fleuve, de la mer ou d'un réseau géothermique, c'est cette chaleur absorbée à l'eau qui sera ensuite utilisée pour produire de l'eau chaude.

Nous avons reproduit ci-dessous le schéma simplifié d'une telle PAC " pompant " la chaleur du sol par l'intermédiaire d'un réseau de capteurs horizontaux enterrés dans lesquels circule de l'eau glycolée. La chaleur récupérée dans le sol par ce réseau sera utilisée par la PAC pour chauffer une habitation, le plus souvent par l'intermédiaire d'un plancher chauffant.



On retrouve sur ce circuit à eau glycolée tous les éléments indispensables étudiés précédemment sur un circuit hydraulique fermé : la pompe, le vase d'expansion, la soupape, la vanne de remplissage, la vanne de vidange, etc.

A NOTER 1 : à cause des risques de gel, l'eau qui circule dans les tubes enterrés doit être obligatoirement glycolée. Pour rappel, la dilatation de l'eau glycolée est supérieure à l'eau. En moyenne, un taux de glycol de 30% entraîne 20% de dilatation supplémentaire. Il faut en tenir compte lors de la sélection du vase d'expansion.

A NOTER 2 : les pertes de charge avec de l'eau glycolée sont supérieures à celle de l'eau pure. Pour déterminer les PdC du réseau, on ne pourrait pas se servir de l'abaque vu *page 592*. Il faut utiliser des abaques faits pour l'eau glycolée, sinon la pompe sélectionnée sera trop petite avec tous les problèmes liés à un manque de débit que l'on connaît.

A NOTER 3 : alors que la température extérieure est négative en hiver, la température du circuit d'eau glycolée reste normalement supérieure à 0°C : cela peut sembler à priori étonnant. En fait, il ne faut pas confondre la température de l'air extérieur et la température du sol qui reste nettement supérieure en profondeur (de l'ordre de 6 à 10°C lorsque les tubes sont enfouis à une profondeur de 60 à 80 cm, et jusqu'à 1,2 m en montagne). Bien entendu, à la fin de l'hiver, le sol sera plus froid, selon les conditions atmosphériques pendant la saison de chauffe (froid, soleil, pluie, neige, etc.) et les durées de fonctionnement de la PAC.

A NOTER 4 : pour installer un tel réseau, il faut disposer d'une surface au sol disponible assez conséquente mais la performance annuelle est supérieure à celle d'une PAC aérothermique. La chaleur que l'on peut extraire dépend de la nature du terrain (une pré-étude par un géologue est indispensable) et des conditions climatiques qui sont bien sûr beaucoup plus favorables en zones douces et humides qu'en haute montagne.

Au fur et à mesure de l'extraction de chaleur, il faut que la chaleur du sol puisse se régénérer par les apports solaires, la pluie et les conditions atmosphériques. Si l'extraction est trop forte (ou si le réseau enterré est trop petit, ce qui revient au même), le sol risque de geler fortement autour des tubes ce qui empêchera la transmission de chaleur.

Avec les tubes enterrés espacés de 40 cm (jusqu'à 60 cm en zone ombrée), on peut extraire en moyenne 10 à 15 W par mètre de tube, ce qui donne une récupération de chaleur de l'ordre de 30 W/m² de terrain. Pour résumer sans entrer dans des calculs fastidieux, disons que pour chauffer une maison de 100 m² avec ce système, il faut prévoir une surface minimale de terrain de 150 à 200 m², ce qui permettra à la PAC de fonctionner avec un COP voisin de 4.

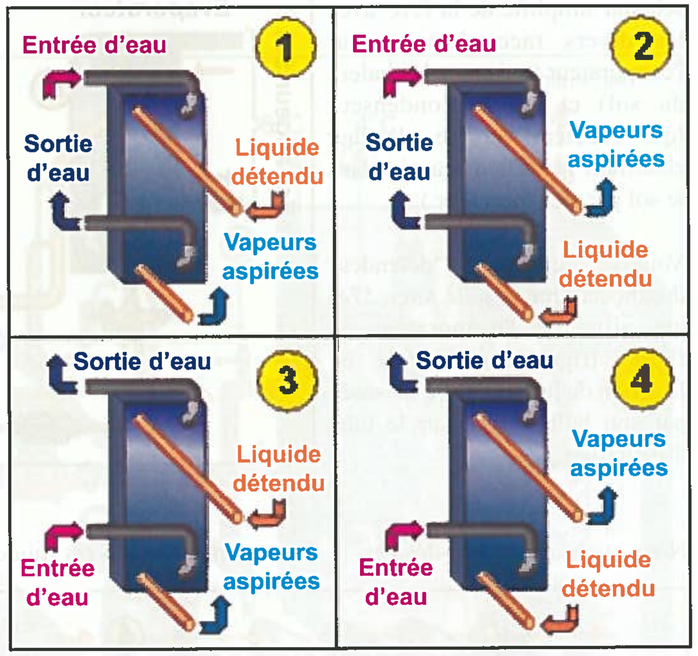
A NOTER 5 : jusqu'à présent, nous avons parlé du COP d'une PAC comme étant égal à la puissance rejetée au condenseur divisé par la puissance électrique consommée. **Sachez qu'il existe un autre COP, appelé " COP annuel " qui tient compte de toutes les consommations électriques de la PAC** (circulateurs et appareillages électriques divers). Bien sûr, le COP annuel est inférieur au COP nominal de la machine.

A NOTER 6 : l'implantation du réseau enterré est particulièrement délicate avec des capteurs horizontaux. Attention aux obstacles (réseau d'égouts ou de pluviales, fosse septique, nappe phréatique, source, rochers, etc.). Par la suite, l'installation d'une piscine risque d'être problématique (il vaut mieux y penser avant). De même, la plantation d'arbres à proximité du réseau enterré sera délicate, surtout ceux à fort développement racinaire (saules, catalpas, figuiers, etc.).

A NOTER 7 : Soyez bien conscient que si l'on tentait d'extraire la chaleur d'une citerne enterrée contenant 2000 litres d'eau, voire 20 000 litres d'eau, la PAC fonctionnerait quelques heures puis, lorsque l'eau de la citerne serait glacée ou même congelée, la PAC n'aurait plus de chaleur à extraire et il n'y aurait plus de chauffage !

A NOTER 8 : Certaines PAC font circuler du fluide frigorigène directement dans des tubes enterrés. Dans ce cas, il n'y a ni pompe ni vase d'expansion, mais un circuit frigorifique qui utilise le sol comme évaporateur et rejette la chaleur puisée dans un condenseur.

Pour que la PAC puisse chauffer l'eau d'un plancher chauffant, on utilise un condenseur à eau, généralement un échangeur à plaques (*voir page 561*).



De même, pour qu'un fluide frigorigène puisse absorber de la chaleur à de l'eau glycolée qui circule dans le sol, il faut un évaporateur à eau. On utilise également un échangeur à plaques.

EXERCICE 1

Parmi les 4 possibilités ci-contre de raccordement d'un évaporateur à eau, laquelle vous semble-t-elle la meilleure ?

Pourquoi ?

Ne lisez pas trop vite le corrigé ci-dessous !

CORRECTION DE L'EXERCICE 1

Nous avons vu *page 488* qu'afin d'optimiser l'échange de chaleur entre 2 fluides, ils doivent circuler à contre courant dans l'échangeur. Dans notre cas, afin d'optimiser l'échange de chaleur dans l'évaporateur, et donc le rendement de la PAC, l'eau et le fluide frigorigène doivent circuler à contre courant.

Or, ces 2 fluides circulent à équicourant dans le schéma **1** (de haut en bas) et dans le schéma **4** (de bas en haut). Ces 2 propositions sont donc à proscrire.

*Dans les schémas **2** et **3**, les 2 fluides sont bien à contre courant et à priori, les 2 montages pourraient convenir. Mais, vaut-il mieux que le compresseur aspire les vapeurs surchauffées dans le bas ou dans le haut de l'évaporateur ?*

Plus lourd que les gaz, les liquides veulent toujours aller vers le bas (on a rarement vu l'eau d'une cascade la remonter de bas en haut !).

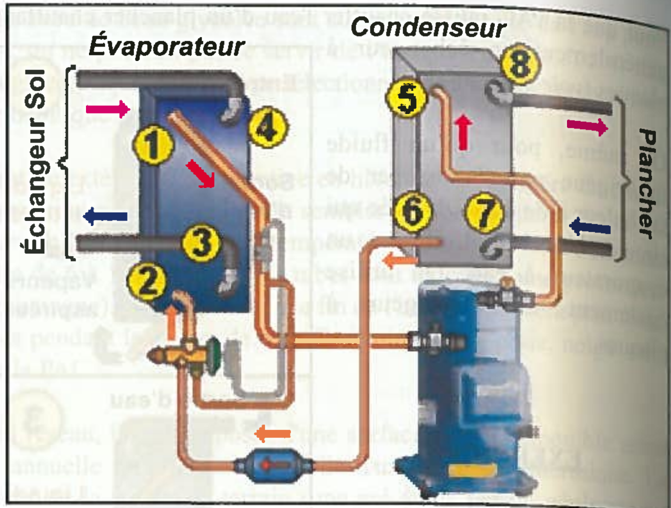
Dans le schéma **3**, le liquide arrive par le haut de l'évaporateur et peut descendre par gravité. Si le compresseur aspire dans le bas, il a bien plus de risques d'aspirer du liquide que s'il aspirait dans le haut de l'échangeur.

Dans le schéma **2**, le liquide pénètre dans l'évaporateur par le bas. Comme le compresseur aspire dans le haut, on a alors la quasi-certitude qu'il n'y aura que des vapeurs et qu'un risque de coups de liquide est très peu probable. C'est pourquoi le schéma **2** est le meilleur.

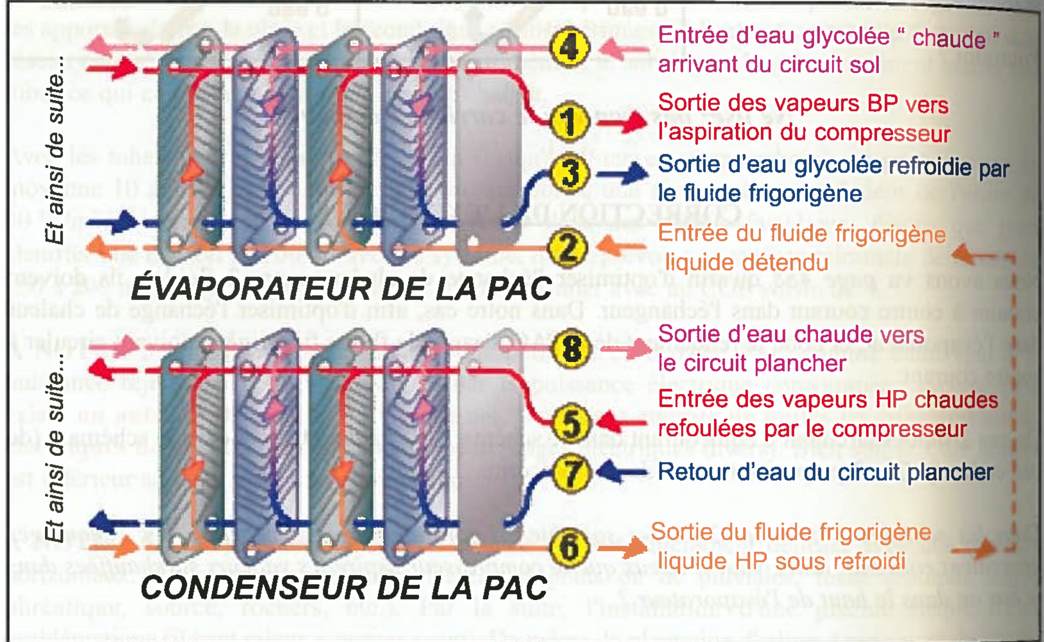
Pompes à chaleur

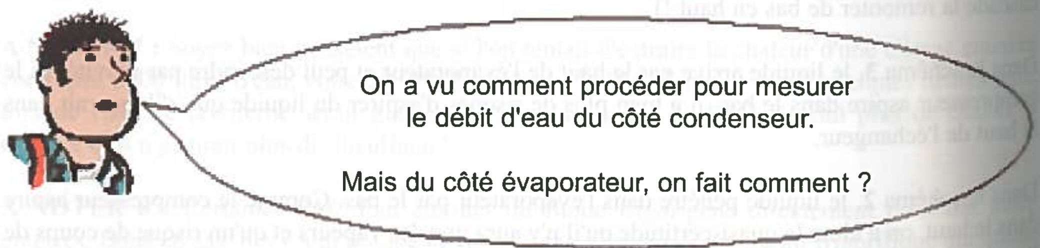
Nous avons reproduit ci-contre le schéma simplifié de la PAC avec les divers raccordements sur l'évaporateur (qui capte la chaleur du sol) et sur le condenseur (qui transfère vers le plancher chauffant la chaleur captée dans le sol par l'évaporateur).

Vous reconnaissez le détendeur thermostatique (*étudié page 574*) qui alimente l'évaporateur en fluide frigorigène liquide en fonction de la surchauffe mesurée par son bulbe placé sur le tube d'aspiration.

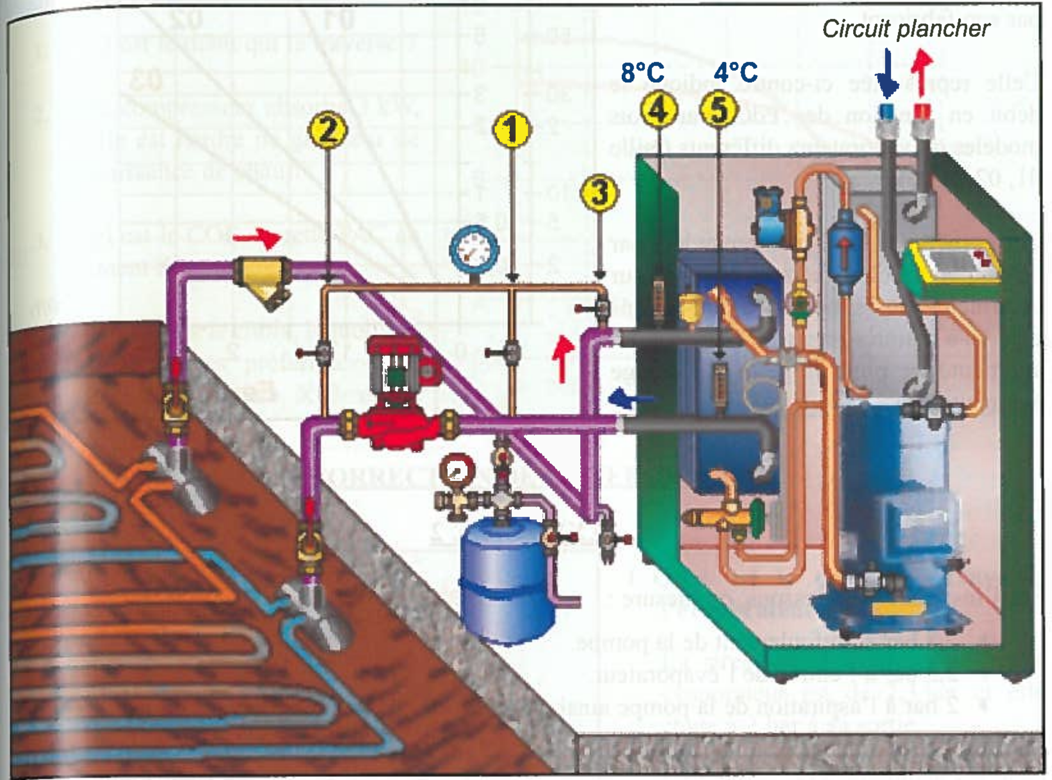


Nous avons détaillé ci-dessous le cheminement des divers fluides à l'intérieur des 2 échangeurs :





Selon l'emplacement des prises manométriques et des thermomètres, il est possible de contrôler le débit de 3 façons différentes :



1. Par la mesure de la Hauteur Manométrique Totale (HMT) de la pompe.

Il faut au moins disposer d'une prise de pression à l'aspiration de la pompe (**repère 1**), à son refoulement (**repère 2**), et avoir sa courbe de fonctionnement (au besoin, revoir la méthode utilisée *page 552* avec la PAC Air-Eau).

Comme nous l'avons vu *page 551*, l'idéal est d'avoir un seul manomètre monté en différentiel (le montage schématisé permet de mesurer la pression en chacun des trois points 1, 2 et 3 par une simple manœuvre des vannes).

2. Par la mesure du Delta T entre l'entrée (repère 4) et la sortie (repère 5) de l'évaporateur.

Cela permet d'apprécier si le débit est convenable (à la mise en route, si le Delta T est trop faible, il y a un surdébit. A l'inverse, si le Delta T est trop élevé, il y a un manque de débit)

Sur ce type de circuit géothermique, le Delta T sur l'eau glycolée du circuit sol est d'environ 3°C à 6°C. En général, la température de retour d'eau évolue entre 7°C et 0°C selon la saison et le temps de fonctionnement journalier de la PAC (4°C est une moyenne).

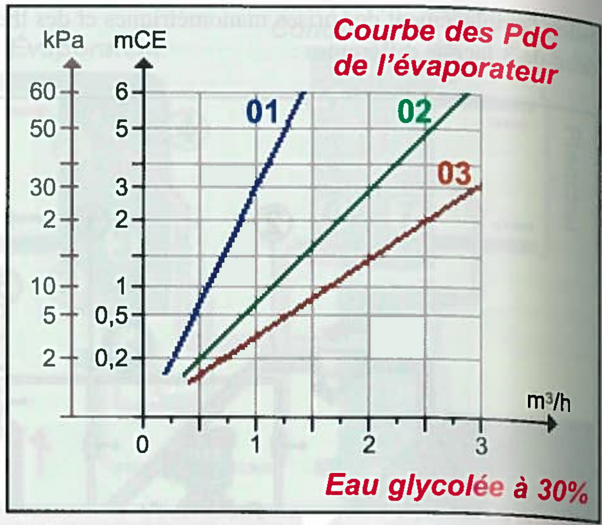
3. Par la mesure de la perte de charge de l'évaporateur.

Il faut au moins disposer d'une prise de pression à l'entrée de l'évaporateur (**repère 3**) et à sa sortie (**repère 1**)...

La mesure de la PdC de l'évaporateur étant effectuée, il faut posséder la courbe de ses Pertes de charge fournie par son fabricant.

Celle représentée ci-contre indique le débit en fonction des PdC pour trois modèles d'évaporateurs différents (taille 01, 02 ou 03).

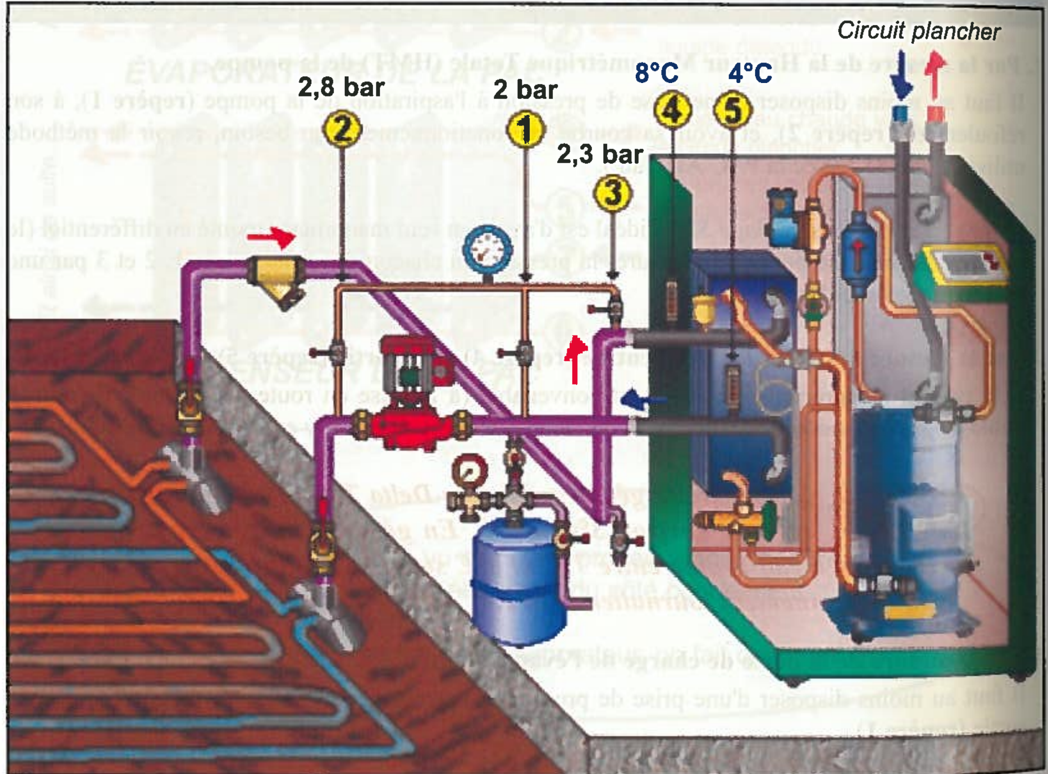
Cette méthode est recommandée par de nombreux constructeurs et basée sur le principe très simple que nous avons déjà vu à maintes reprises : plus le débit augmente et plus la perte de charge augmente.



EXERCICE 2

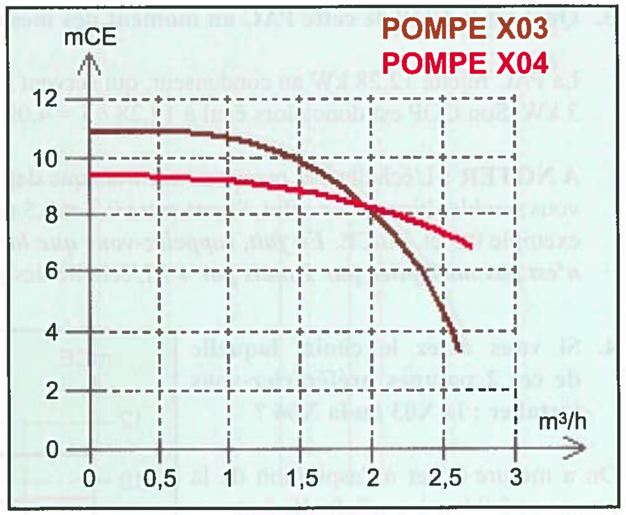
Sur l'installation ci-dessous, on mesure :

- 2,8 bar au refoulement de la pompe.
- 2,3 bar à l'entrée de l'évaporateur.
- 2 bar à l'aspiration de la pompe ainsi qu'à la sortie de l'évaporateur.

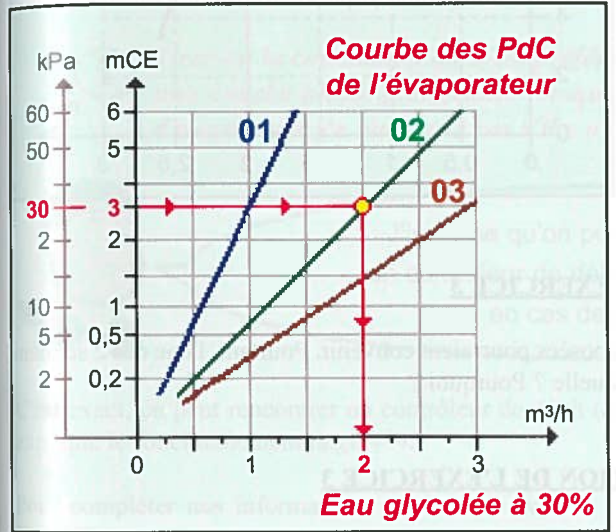


Sachant que l'évaporateur qui équipe notre machine est de taille 2 (voir abaque page précédente) :

1. Quel est le débit qui le traverse ?
2. Si le compresseur absorbe 3 kW, quelle est l'ordre de grandeur de sa puissance de chauffe ?
3. Quel est le COP de cette PAC au moment des mesures ?
4. Si vous aviez le choix, laquelle de ces 2 pompes préféreriez-vous installer le modèle X03 ou le X04 ?



CORRECTION DE L'EXERCICE 2



1. Quel est le débit qui traverse l'évaporateur ?

La pression à l'entrée de notre évaporateur est de 2,3 bar et elle chute à 2 bar à sa sortie.

La PdC de cet évaporateur est donc égale à 2,3 - 2 = 0,3 bar (ou 3 mCE ou 30 kPa).

Comme le montre l'abaque des PdC ci-contre fourni par le fabricant, un évaporateur de taille 02 qui présente une PdC de 3 mCE est traversé par un débit d'eau glycolée à 30% de 2 m³/h.

2. Si le compresseur absorbe 3 kW, quelle est l'ordre de grandeur sa puissance de chauffe ?

Ce débit de 2 m³/h entre dans l'évaporateur à 8°C et en ressort à 4°C (soit un Delta T de 4°C). Or, nous avons vu *page 549* que la Puissance = 1,16 x Débit x Delta T.

A NOTER : la formule ci-dessus n'est en réalité applicable qu'avec de l'eau pure. Selon le % de glycol dans l'eau, le coefficient est légèrement inférieur à 1,16. Nous conserverons toutefois 1,16 vu les imprécisions dans les mesures effectuées sur le chantier.

La puissance absorbée à l'évaporateur correspond donc à 1,16 x 2 x 4 = *environ* 9,28 kW. Nous avons également vu *page 106* que la chaleur rejetée au condenseur est égale à la chaleur absorbée à l'évaporateur + la chaleur de compression due au compresseur (ici, c'est 3 kW).

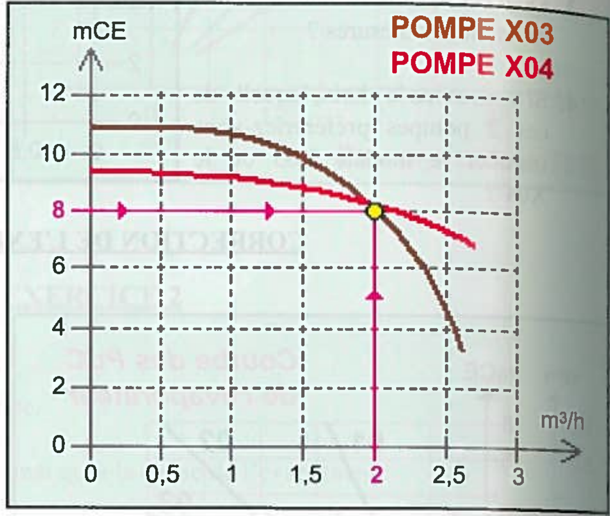
La puissance de chauffe de notre PAC est donc égale à 9,28 + 3 = *environ* **12,28 kW**.

3. Quel est le COP de cette PAC au moment des mesures ?

La PAC rejette 12,28 kW au condenseur, qui servent à chauffer l'eau du plancher, en absorbant 3 kW. Son COP est donc alors égal à 12,28 / 3 = 4,09.

A NOTER : L'échelle des pressions sur l'abaque des évaporateurs de la page précédente peut vous sembler bizarre. En effet, l'écart entre 0,2 et 0,5 mCE est nettement plus grand qu'entre par exemple 0,5 et 1 mCE. ***En fait, rappelez-vous que lorsque le débit double, la perte de charge n'est pas multipliée par 2 mais par 4 !*** L'échelle des pressions en tient compte.

4. Si vous aviez le choix, laquelle de ces 2 pompes préféreriez-vous installer : la X03 ou la X04 ?



On a mesuré 2 bar à l'aspiration de la pompe et 2,8 bar à son refoulement.

Sa HMT (*au besoin, revoir page 550*) est donc égale à 2,8 - 2 = 0,8 bar ou **8 mCE**.

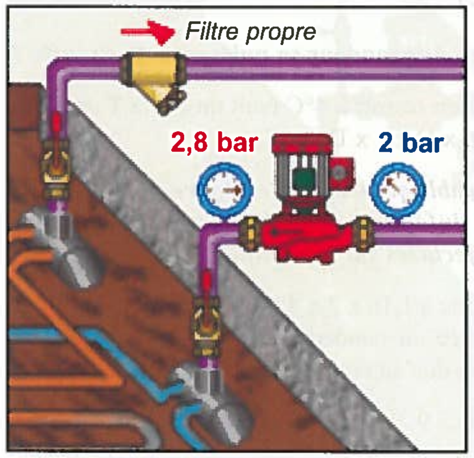
De plus, elle doit être capable d'assurer un débit de **2 m3/h**.

A priori, les 2 pompes proposées conviennent.

EXERCICE 3

Nous venons de voir que les 2 pompes proposées pourraient convenir. Pourtant, l'une des 2 seraient bien meilleure que l'autre. Voyez-vous laquelle ? Pourquoi ?

CORRECTION DE L'EXERCICE 3



Il ne faut pas oublier qu'il y a un filtre sur le circuit et que ce filtre risque de s'encrasser à la longue.

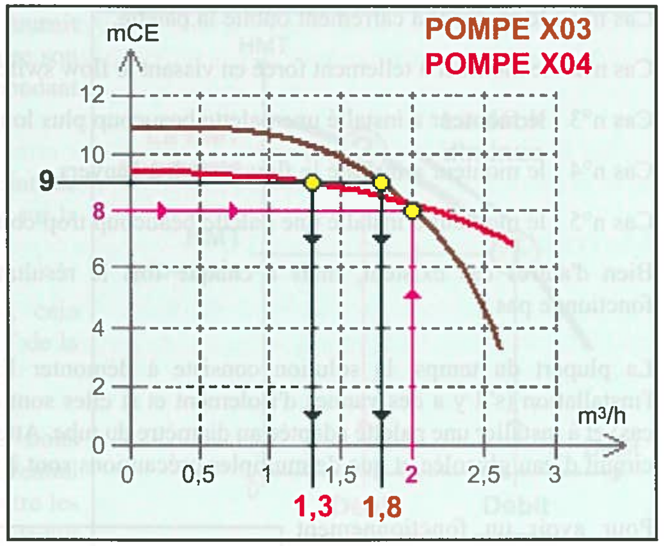
Or, si le filtre s'encrasse, la PdC du réseau enterré va augmenter. A ce moment, l'augmentation de la PdC va obligatoirement se traduire par une diminution du débit.

S'il est exact que les 2 pompes peuvent convenir quand la PdC du circuit est égale à 8 mCE, que va-t-il se passer si l'encrassement du filtre provoque une PdC supplémentaire, par exemple de 1 mCE ?

Vous avez le droit d'y réfléchir avant de lire la suite !

A ce moment, la PdC du réseau enterré sera de **9 mCE**.

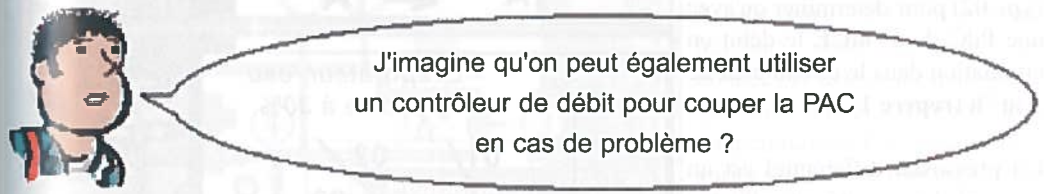
La courbe des 2 pompes permet de voir les conséquences de cette augmentation de PdC sur le débit :



- Avec le pompe X03, le débit chutera à environ **1,8 m³/h**, soit une diminution du débit de 10%.
- **Avec le pompe X04**, le débit chutera à environ **1,3 m³/h**, soit une diminution du débit de 35% et donc une coupure quasiment certaine par le contrôleur de débit !

Ainsi, pour la même variation de la PdC du réseau, les conséquences sur le débit seront bien plus faibles avec la pompe **X03** (courbe plutôt plongeante) qu'avec la pompe **X04** (courbe plutôt plate).

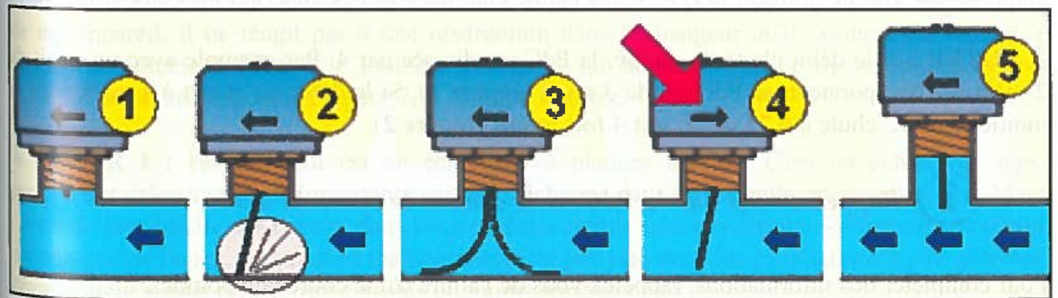
Tirez-en la conclusion qu'il est préférable de choisir une pompe avec une courbe plutôt plongeante lorsque les PdC d'un circuit risquent d'augmenter, ce qui est le cas s'il y a un filtre sur ce circuit.



C'est exact, on peut rencontrer un contrôleur de débit (appelé aussi flow switch) dont nous avons expliqué le fonctionnement *page 484*.

Pour compléter nos informations sur le flow switch, sachez qu'afin de permettre son montage sur différents diamètres de tuyauteries, l'appareil est livré avec plusieurs palettes de longueurs différentes. Cela entraîne parfois quelques désagréments à la mise en route d'une installation.

Nous vous en avons représenté quelques-uns ci-dessous :



Cas n°1 : le monteur a carrément oublié la palette.

Cas n°2 : le monteur a tellement forcé en vissant le flow switch que la palette touche le bas du tube.

Cas n°3 : le monteur a installé une palette beaucoup plus longue que le tube.

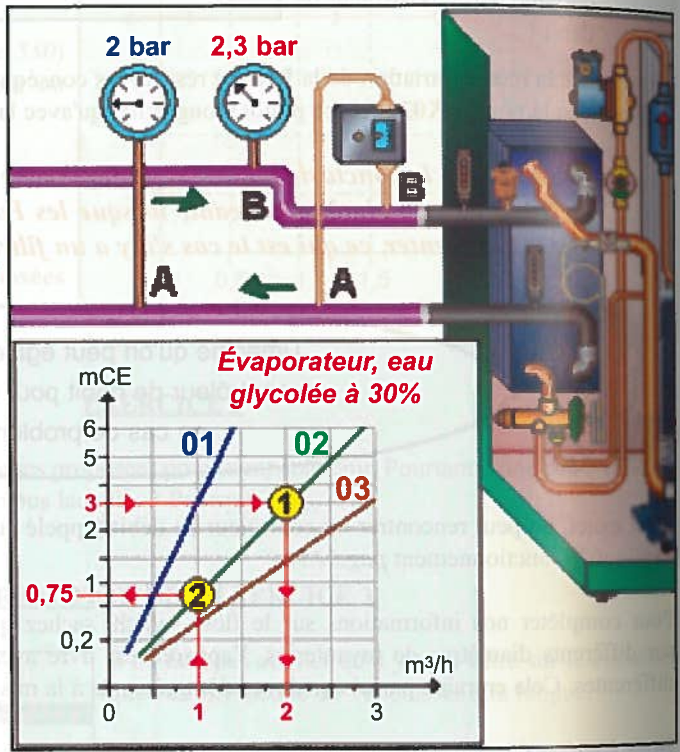
Cas n°4 : le monteur a installé le flow switch à l'envers.

Cas n°5 : le monteur a installé une palette beaucoup trop courte.

Bien d'autres cas existent, mais à chaque fois le résultat est le même : le flow switch ne fonctionne pas !

La plupart du temps, la solution consiste à démonter l'appareil après vidange partielle de l'installation (s'il y a des vannes d'isolement et si elles sont étanches, ce qui n'est pas toujours le cas) et à installer une palette adaptée au diamètre du tube. Attention, rappelez-vous qu'il s'agit d'un circuit d'eau glycolée et que de multiples précautions sont à prendre (*voir page 495*).

Pour avoir un fonctionnement plus fiable, un autre système est très utilisé : **le pressostat différentiel.**



Nous avons utilisé *page 634* un montage avec un manomètre différentiel ainsi que la courbe débit / PdC de l'évaporateur (**de type 02**) pour déterminer qu'avec une PdC de **3 mCE** le débit en circulation dans le circuit était de **2 m³/h** (**repère 1**).

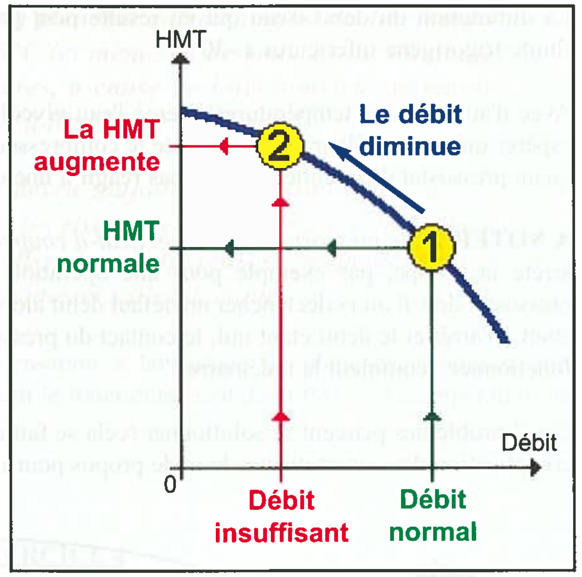
Un pressostat différentiel est un appareil de sécurité qui effectue exactement les mêmes mesures qu'un manomètre différentiel.

Lorsque le Delta P entre les points **B** et **A** est trop faible, il en déduit que le débit est trop faible dans l'évaporateur et il ouvre un contact qui stoppe aussitôt le compresseur afin de protéger la PAC d'une panne dont les conséquences peuvent être critiques.

A NOTER : si le débit chute de moitié, la PdC est divisée par 4. Par exemple avec un débit de 2 m³/h sur l'évaporateur, sa PdC est de 3 mCE (**repère 1**). Si le débit est réduit à **1 m³/h** (soit la moitié), la PdC chute à **0,75 mCE** soit 4 fois moins (**repère 2**).

Rappelez-vous que la PdC varie comme le carré du débit.

Pour compléter nos informations, rappelez-vous de l'allure d'une courbe de pompe...



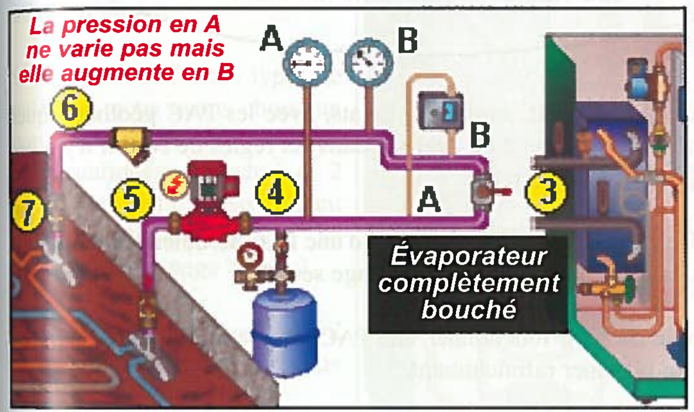
Au débit nominal, une pompe fournit une HMT (c'est-à-dire un Delta P entre son aspiration et son refoulement) correspondant aux PdC de l'installation (**repère 1**).

Mais, quand le débit varie, le point de fonctionnement reste obligatoirement sur la courbe de la pompe.

Par exemple, si le débit diminue, cela implique obligatoirement que la HMT de la pompe augmente (**repère 2**).

Rappelez-vous également ce que nous venons de voir : le pressostat différentiel coupe le compresseur si le Delta P entre les points **B** et **A** est trop faible, car il en déduit un manque de débit dans l'évaporateur.

La pompe étant en service, pour bien comprendre ce qui se passerait si l'évaporateur venait à s'obstruer complètement, que ce soit par de la boue ou par un bouchon de glace, remplaçons-le par une vanne quasiment fermée à fond (**repère 3 ci-dessous**).



A ce moment, la pression à l'aspiration de la pompe (**repère 4**) ne varie absolument pas puisque cette pression est donnée par le vase d'expansion et que seule une modification de la température de l'eau peut la faire varier (*au besoin, voir page 519*).

Par contre, le débit s'effondrant, la HMT de la pompe augmente fortement et sa pression de refoulement augmente (**repère 5**). Attendu qu'il n'y a aucun débit, il n'y a absolument pas de perte de charge dans le réseau enterré et l'on retrouve la pression de refoulement de la pompe au repère **6**, et donc en **B**.

En conclusion, la pression ne varie pas en **A** et elle augmente en **B**. A ce moment, le pressostat différentiel mesurant un Delta P plus important, il ne peut absolument pas couper. C'est le défaut de cet appareil, il ne réagit pas à une obstruction dans l'échangeur qu'il protège. Par contre, il réagira parfaitement s'il y a le moindre problème sur la partie gauche de ses piquages (par exemple, si on bride la vanne repère **7**, il coupera aussitôt.

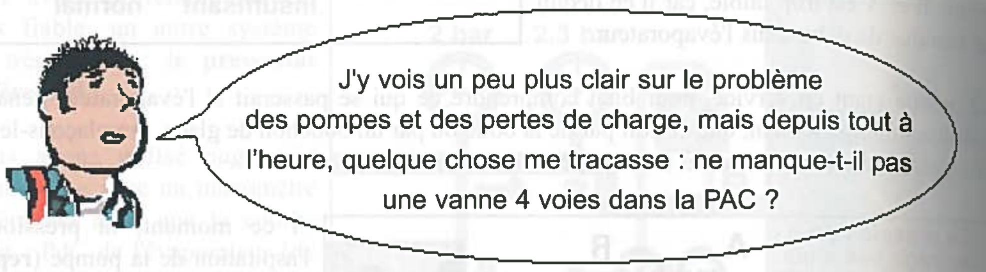
A NOTER 1 : l'évaporateur est un échangeur à plaques brasées. C'est un échangeur super performant grâce à une très importante surface d'échange dans un encombrement très réduit. Mais, revers de la médaille, les canaux dans lesquels l'eau circule sont très étroits. Si l'eau en circulation est chargée de boues, ce qui n'est malheureusement pas rare dans les installations à eau glycolée, l'évaporateur risque de se colmater plus ou moins partiellement...

La diminution du débit d'eau qui en résulte peut provoquer des températures d'évaporation du fluide frigorigène inférieures à -30°C !

Avec d'aussi basses températures, même l'eau glycolée peut prendre en glace ! Il n'y a plus qu'à espérer qu'un contrôleur de débit arrête le compresseur avant qu'il ne soit trop tard (rappelez-vous qu'un pressostat différentiel ne peut pas réagir à une obstruction dans l'évaporateur).

A NOTER 2 : *le pressostat différentiel peut-il couper la pompe par manque de débit ?* Quand on arrête la pompe, par exemple pour une opération de maintenance, le débit devient nul : le pressostat doit-il alors déclencher un défaut débit alors qu'il n'y a pas de défaut ? Ensuite, la pompe étant à l'arrêt et le débit étant nul, le contact du pressostat est ouvert ce qui interdit à la pompe de fonctionner : comment la redémarrer ?

Ces 2 problèmes peuvent se solutionner (cela se fait avec des grosses pompes) mais au prix d'une complication des automatismes hors de propos pour une petite " pompinette ".



Alexis a raison de se poser la question. En fait, sous nos climats, avec les PAC géothermiques récupérant la chaleur du sol, lorsque l'installation a été réalisée dans les règles de l'art, il n'y a pas de risque de gel et aucun dégivrage n'est à prévoir.

C'est pour cette raison que le COP est toujours supérieur à celui d'une PAC aérothermique. Il n'y a donc pas besoin de vanne 4 voies dans les applications " chauffage seul ".

Par contre, il est tout à fait possible de faire fonctionner une PAC géothermique en été afin de transformer le plancher chauffant en plancher rafraîchissant.

Attention, un plancher rafraîchissant n'est pas de la climatisation, c'est un simple rafraîchissement qui permet seulement d'abaisser la température ambiante tout au plus de 3 à 4°C.

S'il fait par exemple 35°C à l'extérieur, on peut abaisser la température intérieure d'une maison bien isolée à environ 28°C simplement en aérant la maison avec l'air frais du matin puis en fermant les volets dans la journée.

S'il y a en plus un plancher rafraîchissant, on peut espérer descendre la température intérieure à environ 24 à 25°C au mieux.

Il n'est donc pas possible d'utiliser ce procédé si l'on souhaite obtenir une température de consigne bien déterminée.

L'eau glacée envoyée dans un plancher rafraîchissant ne doit jamais descendre en dessous de 18°C (et même en dessous d'une vingtaine de °C dans les régions côtières, à cause de l'hygrométrie ambiante naturellement plus élevée qu'à l'intérieur des terres).

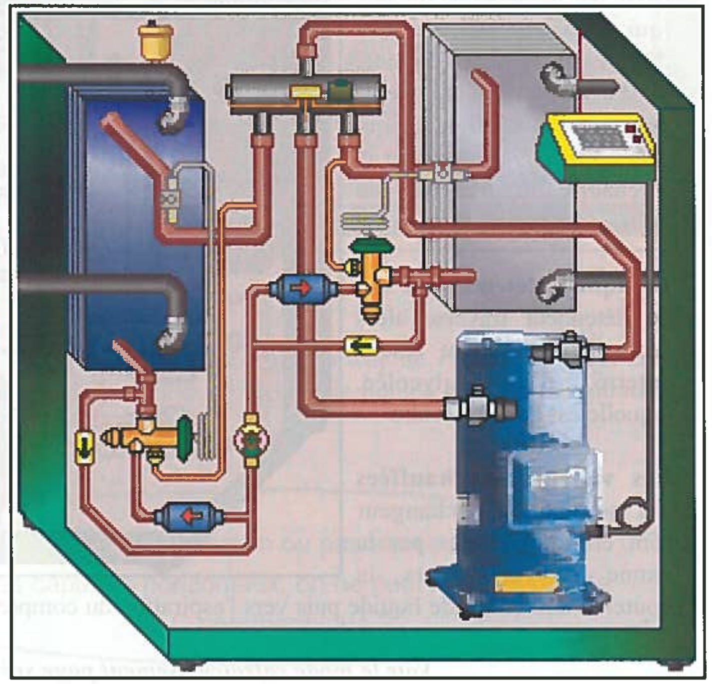
La température de la dalle devra toujours rester supérieure à une vingtaine de °C afin d'éviter les risque de condensation à la surface du carrelage et donc les glissades dangereuses, particulièrement dans les pièces humides (cuisines et salles de bain).

Du reste, afin d'éviter tout risque de condensation à la surface du plancher, le circuit doit comporter une sonde de limite basse interdisant le fonctionnement de la PAC si la température de l'eau glacée diminue trop.

EXERCICE 4

Nous avons schématisé une PAC géothermique réversible utilisée pour chauffer un plancher en hiver et pour le rafraîchir en été.

Afin de voir différents types de matériels, nous avons choisi un montage utilisant 2 détendeurs thermostatiques, 2 déshys et 2 clapets de retenue, ressemblant " dans les grandes lignes " au montage étudié *page 575*.



1. A votre avis, ne manque-t-il pas quelque chose sur cette PAC ?

2. Sur une machine réelle, les divers composants sont la plupart du temps tellement serrés les uns contre les autres qu'il n'est pas toujours facile de suivre le circuit.

Alors, profitez de ce schéma bien plus aéré qu'une machine réelle pour vous entraîner à suivre son fonctionnement en régime chauffage puis en régime rafraîchissement.

3. Pourrait-on utiliser le mode rafraîchissement sur un circuit radiateurs ?

Correction page suivante…

CORRECTION DE L'EXERCICE 4

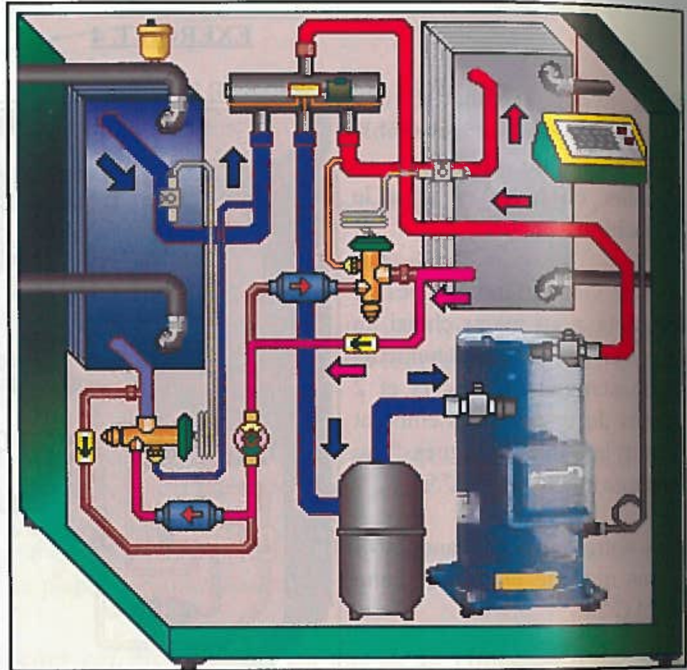
1. A votre avis, ne manque-t-il pas quelque chose sur cette PAC ?

A chaque inversion de cycle, le condenseur va être transformé en évaporateur et vice-versa. Lorsque le condenseur devient évaporateur, les pressions HP et BP s'inversent et le liquide précédemment contenu dans le condenseur est propulsé massivement vers le compresseur avec les conséquences que l'on connaît.

C'est pourquoi nous avons rajouté une bouteille anti coups de liquide sur l'aspiration du compresseur (au besoin, voir *page 357*).

2. fonctionnement en régime chauffage puis en régime rafraîchissement.

En régime chauffage, la vanne 4 voies dirige **les gaz chauds HP du refoulement** vers l'échangeur relié à l'eau du plancher, laquelle est donc chauffée.



Le liquide HP sous refroidi qui sort de cet échangeur passe par le clapet de retenue (qui bipasse le premier détendeur), le voyant liquide, le déshydrateur, puis il arrive au second détendeur qui ajuste son ouverture selon la surchauffe mesurée par son bulbe.

Le liquide détendu qui sort du détendeur traverse alors l'échangeur relié au réseau enterré d'eau glycolée, laquelle est donc refroidie.

Les vapeurs surchauffées qui sortent de l'échangeur sont ensuite dirigées par la vanne 4 voies vers la bouteille anti coups de liquide puis vers l'aspiration du compresseur.

Voir le mode rafraîchissement page suivante...

3. Pourrait-on utiliser le mode rafraîchissement sur un circuit radiateurs ?

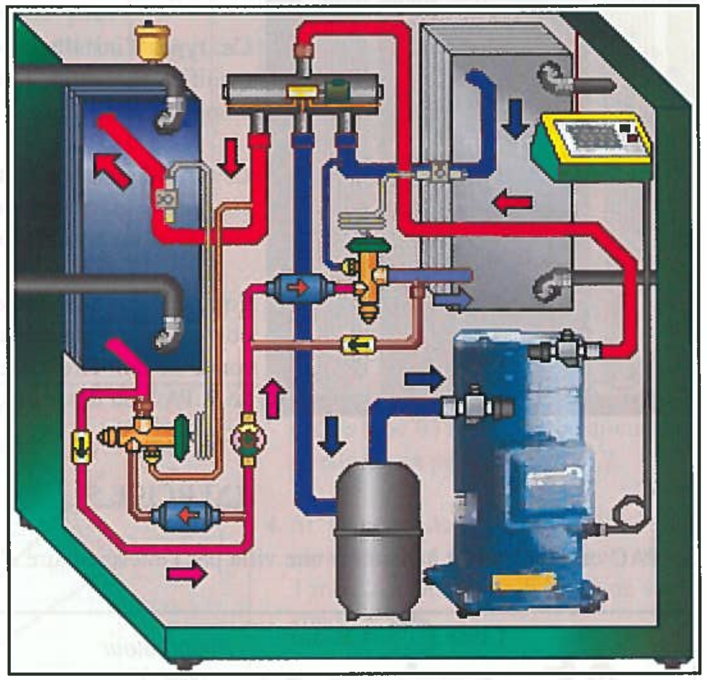
Le fonctionnement en rafraîchissement avec des radiateurs classiques n'est pas envisageable à cause de leur faible surface d'échange comparativement à celle d'un plancher chauffant.

Pour obtenir un léger rafraîchissement, il faudrait faire circuler dans les radiateurs de l'eau glacée très fraîche, de l'ordre de 5°C.

Cela n'irait pas sans poser quelques problèmes. Vous voyez lesquels ?

Avec de l'eau aussi fraîche, il y aurait alors tellement de condensation sur toute la surface des radiateurs que la villa deviendrait rapidement une vraie piscine !

En fait, cela ne pourrait être envisageable qu'avec des ventilo-convecteurs dimensionnés à l'origine pour cette application et dont les bacs à condensats seraient bien raccordés à l'égout.

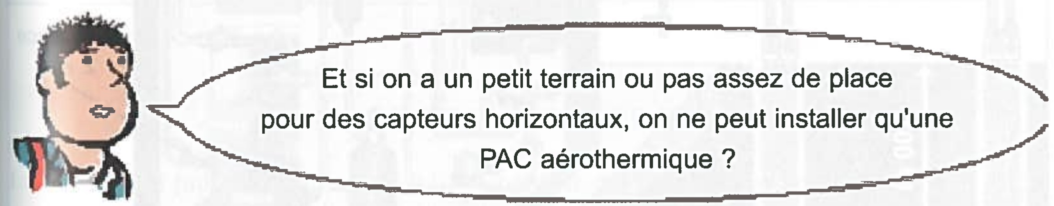


En mode rafraîchissement la vanne 4 voies dirige **les gaz chauds du refoulement** vers l'échangeur relié au réseau d'eau glycolée enterré, laquelle est donc chauffée.

Le liquide HP sous refroidi qui sort de cet échangeur passe par le clapet de retenue (en bipassant le second détendeur), le voyant liquide, le déshydrateur puis il arrive au premier détendeur qui ajuste son ouverture selon la surchauffe mesurée par son bulbe.

Le liquide détendu qui sort du détendeur traverse ensuite l'échangeur relié au circuit plancher, lequel est donc refroidi.

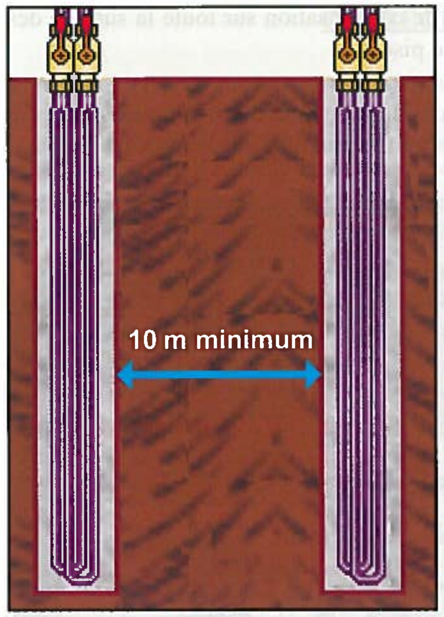
Comme précédemment, **les vapeurs surchauffées** qui sortent de l'échangeur sont ensuite dirigées par la vanne 4 voies vers la bouteille anti coups de liquide puis vers l'aspiration du compresseur.



Non, il existe une autre solution (plus onéreuse) qui consiste à récupérer la chaleur de la terre en profondeur en utilisant des sondes géothermiques verticales, lorsque la surface du terrain est faible et que la nature du sol le permet (une étude géologique est donc nécessaire).

Chaque sonde nécessite un forage d'un diamètre de 10 à 15 cm à un profondeur variable.

On estime que de telles sondes peuvent prélever de l'ordre de 20 à 50 W/m (40 W/m étant une valeur moyenne). Ainsi, une sonde verticale de 50 m de profondeur est capable de prélever environ 40 x 50 = 2000 W, soit 2 kW...



Selon la puissance de chauffe nécessaire, on pourra déterminer le nombre de sondes à installer ainsi que leur profondeur, laquelle dépend de la nature du sol.

Selon la profondeur des forages, des autorisations administratives sont nécessaires.

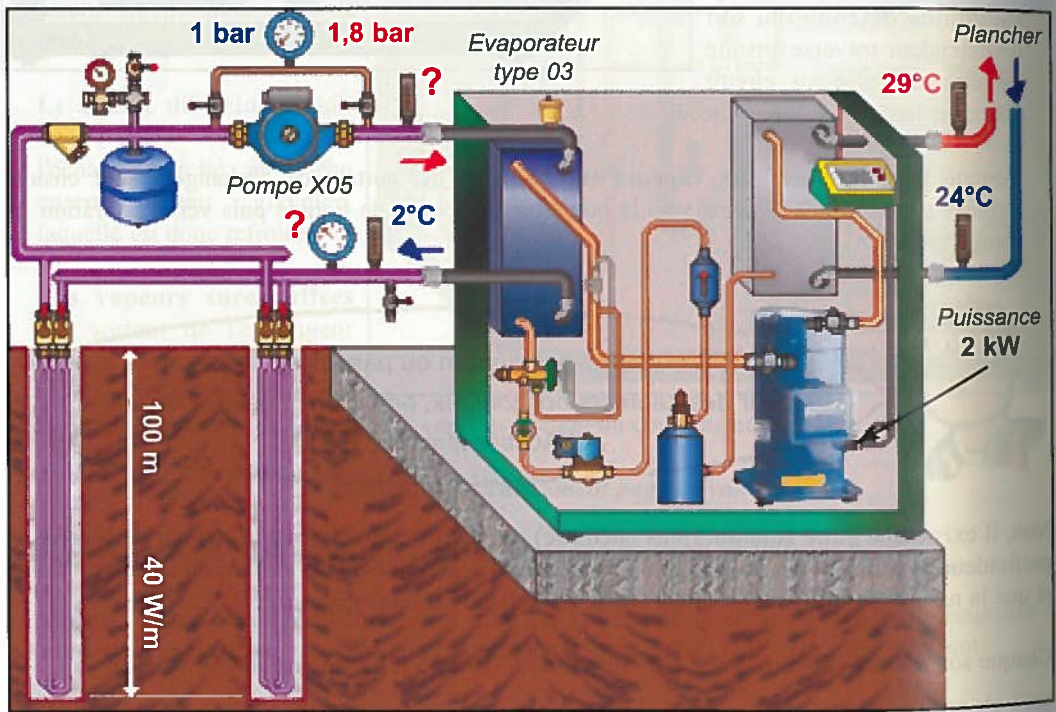
Ce type d'installation est l'affaire de professionnels qualifiés. En effet, on ne doit pas installer les sondes n'importe comment.

Le refroidissement du sol autour d'une sonde ne doit pas contrarier le chauffage des locaux ni le captage de chaleur d'une sonde voisine.

Pour ces raisons, lorsqu'il y a plusieurs sondes, elles doivent être espacées au minimum de 10 m et aucune sonde ne doit être placée à une distance inférieure à 3 m de la PAC ou des locaux chauffés.

EXERCICE 5

La PAC ci-dessous sert à chauffer une villa par l'intermédiaire d'un plancher chauffant.



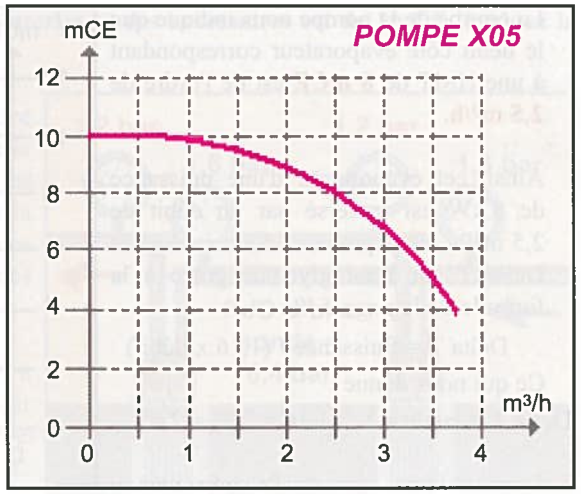
L'objectif de l'exercice est de " muscler " vos neurones en mettant en application les connaissances acquises jusqu'à présent...

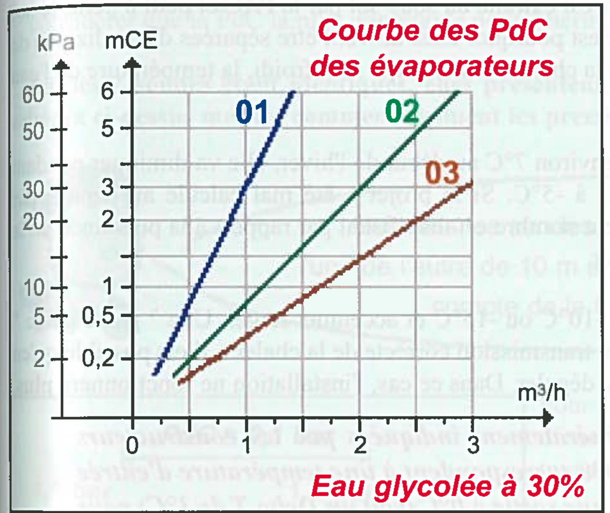
Examinez bien les divers relevés et essayez de répondre aux différentes questions.

1. Il y a 2 sondes verticales identiques qui descendent à 100 m de profondeur.

En admettant que chaque sonde peut prélever 40 W par mètre, quelle est la puissance transmise à l'évaporateur par ces 2 sondes ?

2. Si la pompe du réseau enterré est un modèle **X05** (voir sa courbe ci-contre), quel est l'ordre de grandeur du débit d'eau glycolée dans ce réseau et à quelle température l'eau pénètre-t-elle dans l'évaporateur ?





3. Si l'évaporateur utilisé dans cette PAC est de **type 03** (voir courbe ci-contre), quelle est sa perte de charge ?

4. Si la perte de charge du filtre, des tuyauteries et des accessoires est de 1 mCE, quelle est la PdC d'une seule sonde ?

5. Si le compresseur a un puissance de 2 kW, quelle est la puissance de chauffe transmise au plancher chauffant ?

6. Quel est le débit du circulateur côté plancher chauffant ?

CORRECTION DE L'EXERCICE 5

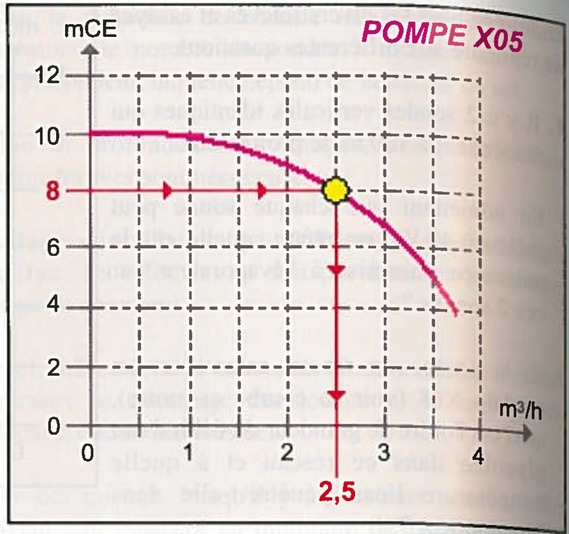
1. Quelle est la puissance transmise à l'évaporateur par les 2 sondes ?

Avec un prélèvement de 40 W par mètre et une longueur de 100 m, chaque sonde peut prélever au sol 100 x 40 = 4000 W, soit 4 kW. Attendu qu'il y a 2 sondes identiques, la puissance transmise à l'évaporateur est de 2 x 4 = 8 kW.

2. Quel est l'ordre de grandeur du débit d'eau glycolée dans le réseau enterré et la température d'entrée dans l'évaporateur ?

On a mesuré 1,8 bar au refoulement de la pompe et 1 bar à son aspiration. Sa HMT est donc égale à 1,8 - 1 = 0,8 bar soit 8 mCE...

La courbe de la pompe nous indique que le débit côté évaporateur correspondant à une HMT de **8 mCE** est de l'ordre de **2,5 m³/h.**



Ainsi, cet évaporateur d'une puissance de 8 kW est traversé par un débit de 2,5 m³/h. Nous pouvons donc *évaluer* le Delta T sur l'eau glycolée grâce à la formule de la *page 549* :

Delta T = Puissance / (1,16 x débit)

Ce qui nous donne :

Delta T = *environ* 8 / (1,16 x 2,5) = 2,8°C.

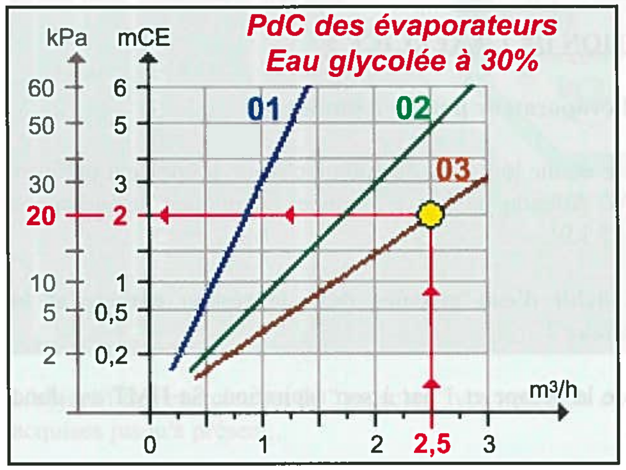
Comme l'eau sort de l'évaporateur à 2°C, c'est qu'elle y entre à 2 + 2,8 = ***4,8°C****.*

A NOTER : Pendant l'hiver, de la chaleur est extraite au sous-sol par la PAC et petit à petit, le sol va se refroidir en périphérie des sondes (c'est pourquoi elles doivent être séparées d'une dizaine de mètres). Afin de continuer à récupérer de la chaleur à un sol qui se refroidi, la température de l'eau glycolée va diminuer de plus en plus.

Alors que la température du glycol est d'environ 7°C au début de l'hiver, elle va diminuer pendant la saison de chauffe jusqu'à environ 0°C à -5°C. Si le projet a été mal calculé au départ, par exemple si la profondeur des sondes ou leur nombre est insuffisant par rapport à la puissance de la PAC, le sol va se refroidir très vite et geler.

La température du glycol va descendre à -10°C ou -15°C et accentuer le gel. Une " gaine gelée " va alors entourer les sondes et empêcher la transmission correcte de la chaleur. Il est possible qu'en été, le sous sol n'ait même pas le temps de dégeler. Dans ce cas, l'installation ne fonctionnera plus.

Les valeurs nominales généralement indiquées par les constructeurs pour de l'eau glycolée à 30% correspondent à une température d'entrée dans les sondes à -3°C et à une sortie à 0°C (soit un Delta T de 3°C) pour un départ eau chaude vers le plancher à 35°C.



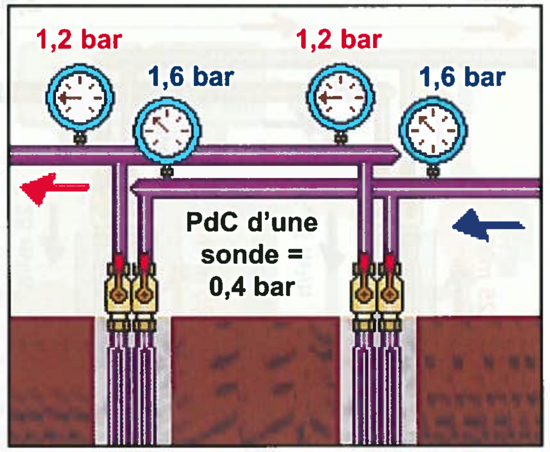
3. Si l'évaporateur utilisé dans cette PAC est de type 03 quelle est sa perte de charge ?

La HMT de la pompe nous a permis de savoir que le débit du côté de l'évaporateur est égal à **2,5 m³/h.**

La courbe des pertes de charge de l'évaporateur de **type 03** installé dans la PAC nous indique que pour un débit de **2,5 m³/h** sa PdC est de **2 mCE.**

4. Si la perte de charge du filtre, des tuyauteries et des accessoires est de 1mCE, évaluez la PdC d'une seule sonde ?

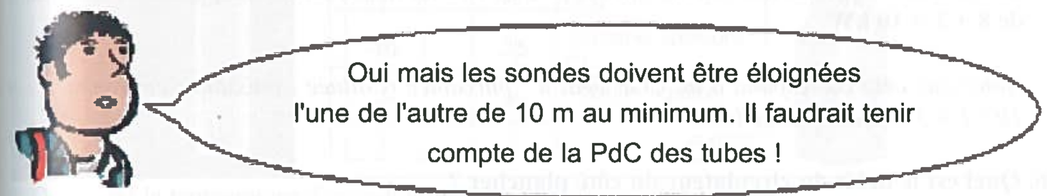
La HMT de la pompe est de **8 mCE**. Cette HMT représente " la poussée " fournie par la pompe à l'eau glycolée pour vaincre les PdC de l'ensemble du circuit, c'est-à-dire la PdC de l'évaporateur (**2 mCE**) + la PdC des sondes **(?)** + la perte de charge du filtre, des tuyauteries et des accessoires (**2 mCE**).

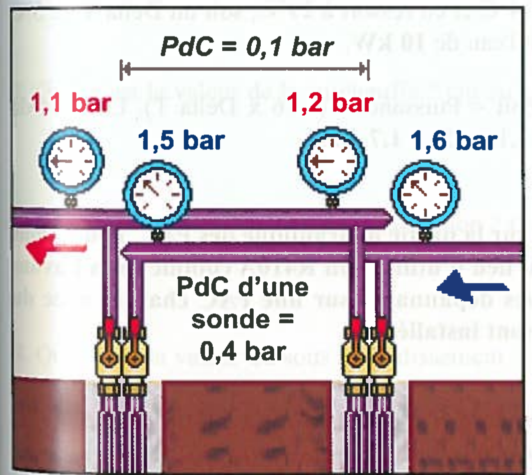


En conclusion, la PdC des sondes est égale à la Hmt (8 mCE) - la PdC de l'évaporateur (2 mCE) - la PdC du filtre, des tuyauteries et des accessoires (2 mCE) = 8 - 2 - 2 = **4 mCE.**

Or, nous avons vu *page 595* avec différentes zones de chauffage plancher montées en parallèle et ayant des PdC différentes qu'on ne doit considérer que la PdC la plus importante pour déterminer la HMT de la pompe.

Ici, les 2 sondes étant identiques, elles présentent chacune la même PdC de 4 mCE. Le schéma ci-dessus montre comment évoluent les pressions.





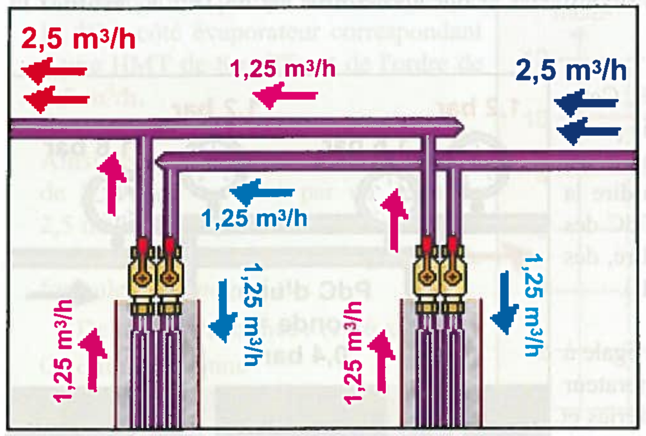
Pour répondre à Alexis, admettons à titre d'exemple que la PdC d'une longueur de tuyauterie entre les 2 sondes soit de 0,1 bar.

La pression à l'entrée de la première sonde étant de **1,6 bar** elle chuterait à **1,5 bar** à l'entrée de la seconde.

Chaque sonde ayant une PdC de 0,4 bar, la pression serait de **1,2 bar** à la sortie de la première et de *1,1 bar* à la sortie de la seconde.

Regardez le schéma : cela ne change rien au raisonnement pour déterminer la PdC d'une sonde unique : PdC d'une sonde = Hmt de la pompe (8 mCE) - PdC de l'évaporateur (2 mCE) - PdC du filtre, de l'ensemble de la tuyauterie et des accessoires (2 mCE) = 8 - 2 - 2 = **4 mCE.**

Avant de tourner la page, auriez-vous une idée du débit d'eau glycolée dans chacune des sondes ?



Le débit de la pompe est de **2,5 m³/h**.

c'est donc **2,5 m³/h** d'eau glycolée qui arrivent sur les sondes.

Celles-ci étant montées en parallèle, on peut considérer avec ce montage que chaque sonde n'est en réalité traversée que par la moitié du débit, soit 2,5 / 2 = **1,25 m3/h**.

Vous pouvez observer sur le schéma la façon dont les débits se répartissent.

5. Si le compresseur a un puissance de 2 kW, quelle est la puissance de chauffe transmise au plancher chauffant ?

Nous avons vu *page 106* et rappelé *page 635* (question 2) que la chaleur rejetée au condenseur est égale à la chaleur absorbée à l'évaporateur (les 8 kW que nous avons calculé dans la question 1) + la chaleur de compression du compresseur (dans l'exercice, c'est 2 kW).

Le condenseur permet donc de chauffer le plancher en lui transmettant une puissance calorifique de 8 + 2 = **10 kW**.

Notez que cela correspond à un COP égal à : puissance restituée / puissance consommée soit 10 / 2 = 5 ce qui est excellent.

6. Quel est le débit du circulateur du côté plancher ?

L'eau du plancher entre dans le condenseur à 24°C et en ressort à **29°C**, soit un Delta T de 5°C pour une puissance de chauffe communiquée à l'eau de **10 kW**.

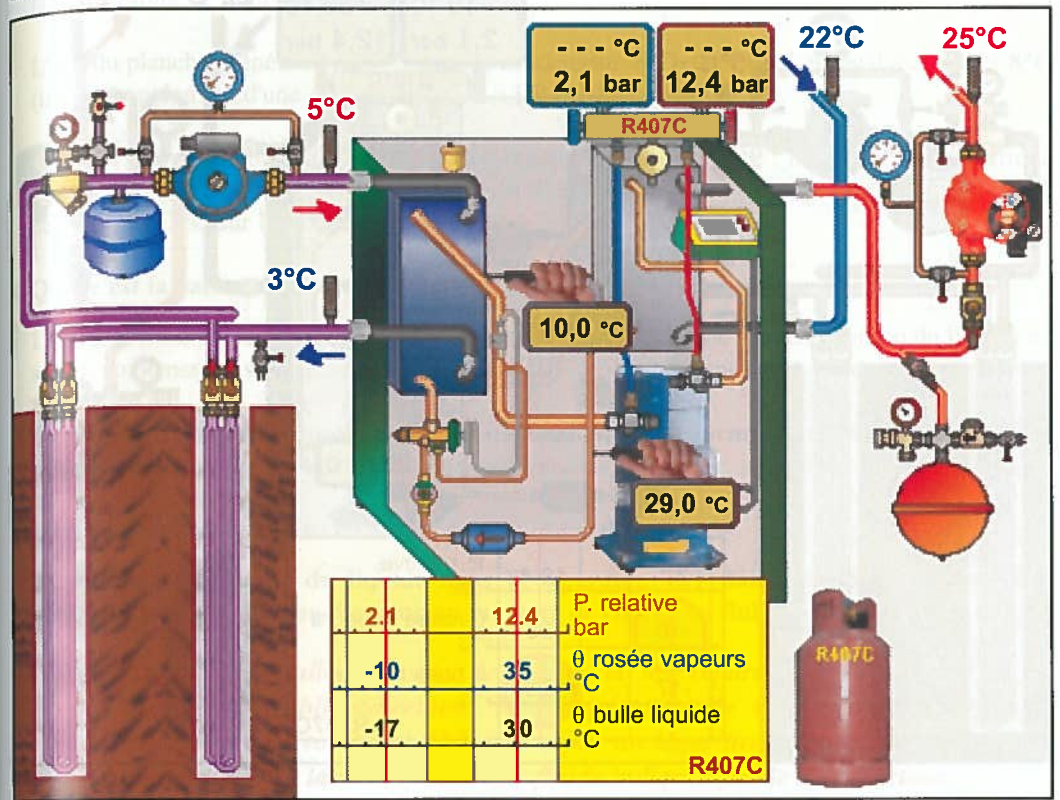
Réutilisons la formule étudiée *page 549* : Débit = Puissance / (1,16 x Delta T). Le débit du circulateur côté plancher est donc égal à 10 / (1,16 x 5) = **1,7 m3/h**.

Après ces quelques révisions et mises au point sur la partie hydraulique des PAC, nous allons nous intéresser au circuit frigorifique, mais au lieu d'utiliser du R410A comme nous l'avons fait jusqu'à présent, nous allons faire quelques dépannages sur une PAC chargée avec du R407C (il y en a plus dizaines de milliers qui sont installées).

A cause du phénomène de glissement qui complique les raisonnements en dépannage, avant de vous " frotter " aux dépannages qui suivent, n'hésitez pas en cas de besoin à réviser les notions de surchauffe et de sous refroidissement avec le R407C (des pages 258 à 265).

EXERCICE 6

En fonction des relevés ci-dessous :



2,1	12,4	P. relative bar
-10	35	θ rosée vapeurs °C
-17	30	θ bulle liquide °C
		R407C

1. Quelle est la température d'évaporation ? Qu'en pensez-vous ?

2. Quelle est la valeur de la surchauffe ? Qu'en pensez-vous ?

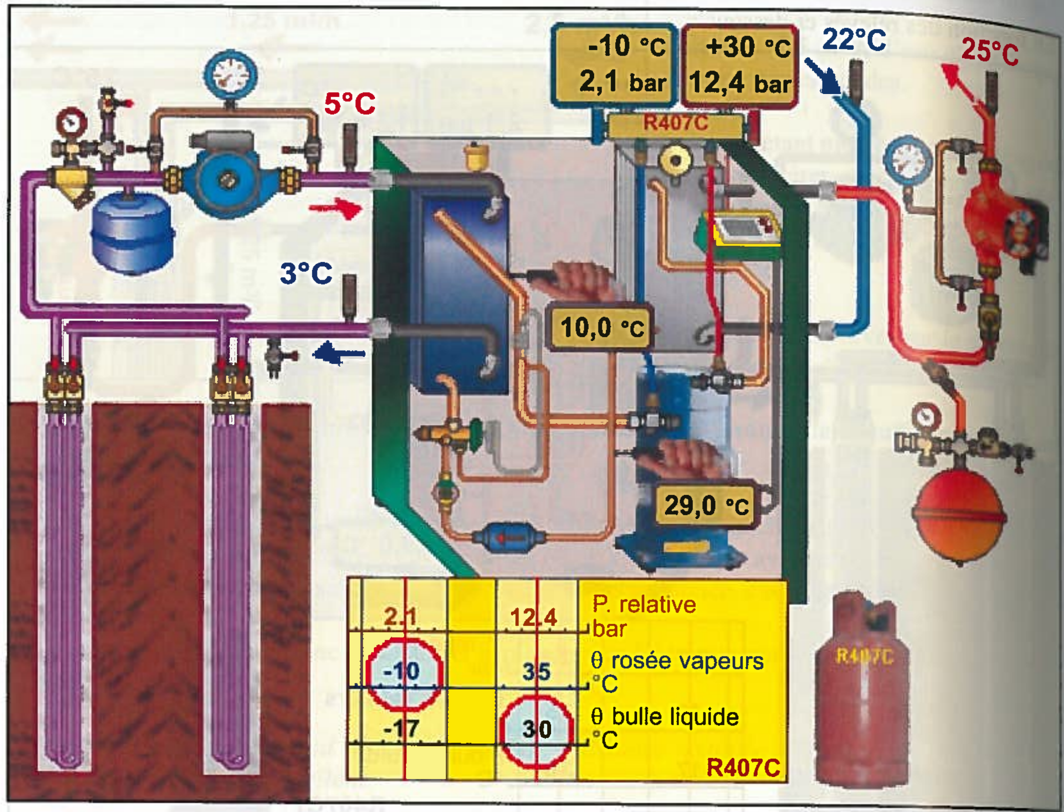
3. Quelle est la température de condensation ? Qu'en pensez-vous ?

4. Quelle est la valeur du sous refroidissement ? Qu'en pensez-vous ?

5. Quelles conclusions en tirez-vous ?

Solution page suivante...

CORRECTION DE L'EXERCICE 6



1. Quelle est la température d'évaporation ? Qu'en pensez-vous ?

Avec 2,1 bar à l'aspiration du compresseur, la température d'évaporation est de **-10°C** (c'est la température de rosée du R407C).

L'eau glycolée pénétrant à **5°C** dans l'évaporateur, le Delta T total est anormalement élevé puisqu'il est égal à **5** - (**-10**) = **15°C** (il est normalement de l'ordre de 5 à 8°C).

Avec une BP aussi faible, nous sommes en présence d'une panne BP et le manque de puissance frigorifique explique le Delta T sur l'eau à l'évaporateur plutôt faible de 5 - 3 = 2°C au lieu de 3 à 4°C sur ce type de machines.

2. Quelle est la valeur de la surchauffe ? Qu'en pensez-vous ?

La surchauffe est égale à la température au bulbe du détendeur - la température d'évaporation, soit ici **10** - (**-10**) = **20°C** (en l'absence de bouteille anti coups de liquide elle est normalement de l'ordre de 4 à 7 °C).

Cette surchauffe anormalement élevée indique sans aucun doute, quelle qu'en soit la raison, qu'il manque du liquide dans l'évaporateur.

Le compresseur aspirant davantage de liquide que l'évaporateur n'en produit, la BP est bien trop basse. ***Il reste à déterminer pourquoi l'évaporateur n'est pas suffisamment alimenté en liquide.***

3. Quelle est la température de condensation ? Qu'en pensez-vous ?

Avec 12,4 bar au refoulement du compresseur, la température de condensation est de **30°C** (c'est la température de bulle du R407C).

L'eau du plancher pénétrant à **22°C** dans le condenseur, le Delta T total est égal à **30** -**22** = **8°C** (il est normalement d'une dizaine de °C). La HP est donc plutôt faible.

Cette HP un peu faible est la conséquence logique d'une panne BP : la puissance frigorifique étant faible, la puissance rejetée au condenseur l'est également, ce qui explique le faible Delta T de 25 - 22 = **3°C** sur l'eau du plancher.

4. Quelle est la valeur du sous refroidissement ? Qu'en pensez-vous ?

Le sous refroidissement est égal à la température de condensation - la température du liquide en sortie condenseur, soit ici **30** - **29** = **1°C** (il est normalement de l'ordre de 4 à 8°C).

Ce sous refroidissement anormalement faible indique sans aucun doute, quelle qu'en soit la raison, qu'il manque du liquide dans le condenseur.

5. Quelles conclusions en tirez-vous ?

Attendu qu'il manque du liquide dans l'évaporateur ET dans le condenseur on peut diagnostiquer sans risque d'erreur un manque de charge en fluide frigorigène.

Il va donc falloir trouver les fuites et les réparer. Le dépannage nécessitera obligatoirement la récupération de tout le fluide de l'installation (voir page 413) suivie par un léger tirage au vide et une recharge avec la masse exacte de fluide indiquée par le constructeur.

ATTENTION : La récupération du fluide frigorigène sur une installation contenant de l'eau nécessite quelques précautions pour éviter qu'un échangeur prenne en glace (voir page 681).

Quelques rappels :

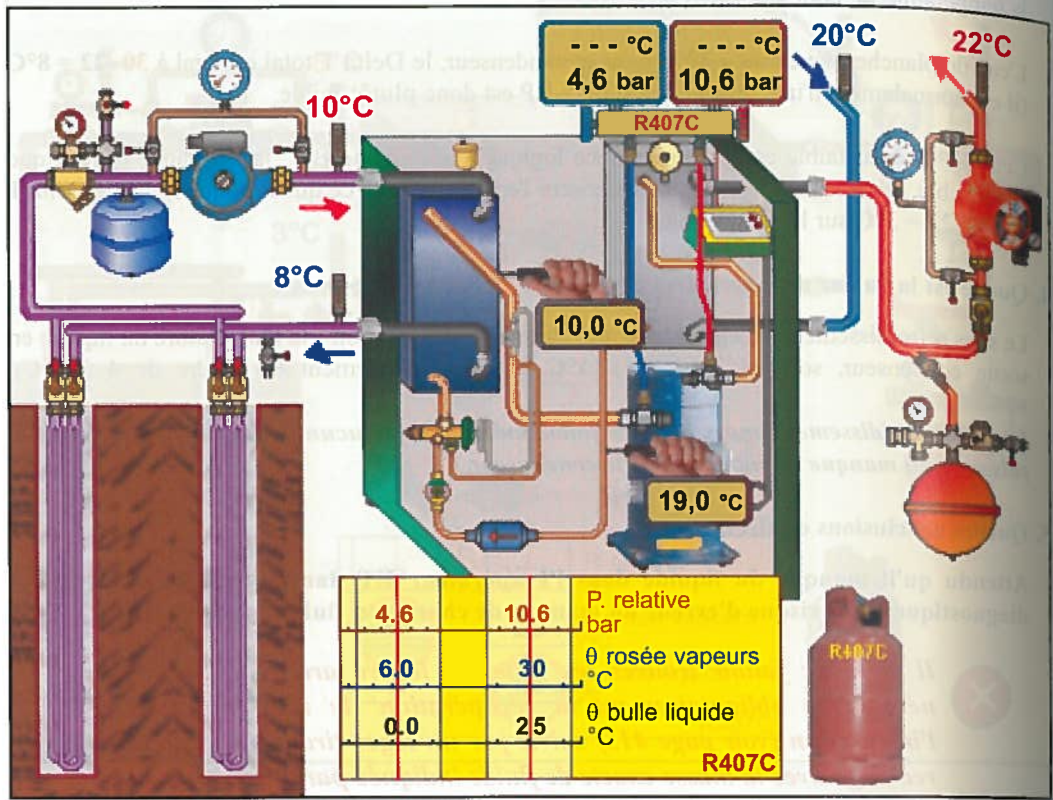
La nouvelle réglementation Européenne établit des règles très strictes en ce qui concerne le contrôle d'étanchéité des installations (voir le détail pages 282 et 283).

Pour chaque technicien, les types d'équipements sur lesquels il peut intervenir ainsi que les types d'activités qu'il peut exercer dépendent de ses diplômes ou de son attestation d'aptitude. Le règlement Européen prévoit en effet que les connaissances des salariés soient évaluées par une épreuve théorique et par une épreuve pratique (voir détails pages 425 à 431).

Dépannage

EXERCICE 7

En fonction des relevés ci-dessous :



1. Quelle est la température d'évaporation ? Qu'en pensez-vous ?

2. Quelle est la valeur de la surchauffe ? Qu'en pensez-vous ?

3. Quelle est la température de condensation ? Qu'en pensez-vous ?

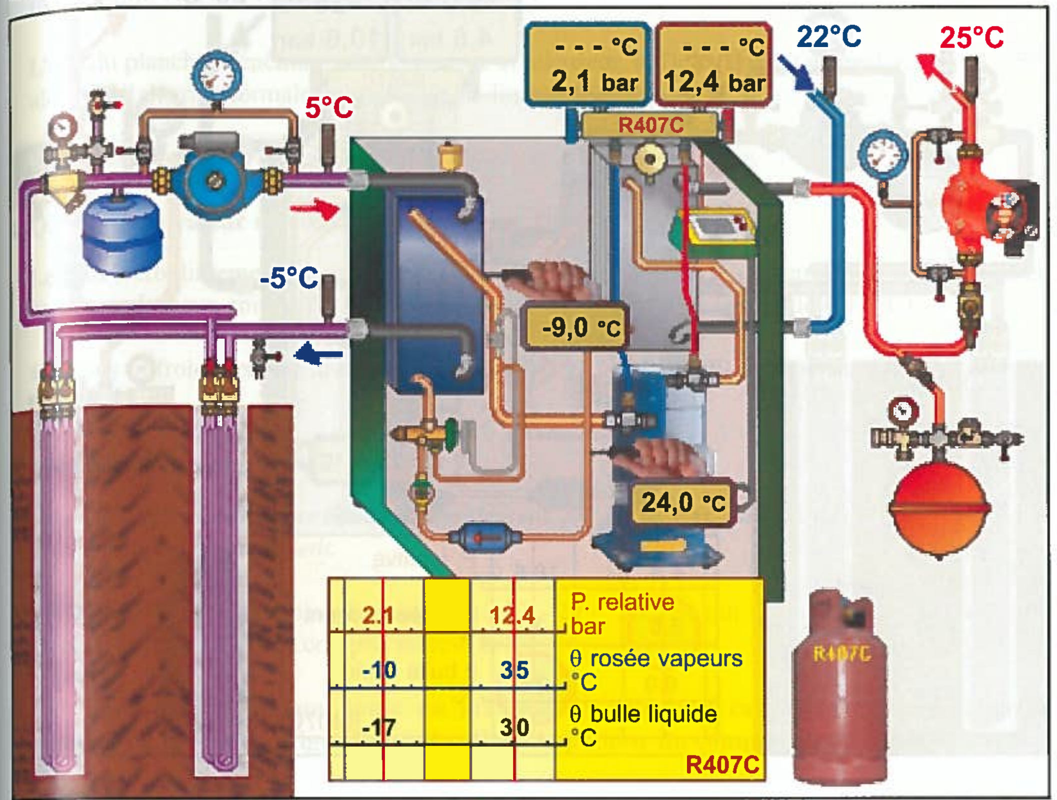
4. Quelle est la valeur du sous refroidissement ? Qu'en pensez-vous ?

5. Quelles conclusions en tirez-vous ?

Solution page 654...

EXERCICE 8

En fonction des relevés ci-dessous :



1. Quelle est la température d'évaporation ? Qu'en pensez-vous ?

2. Quelle est la valeur de la surchauffe ? Qu'en pensez-vous ?

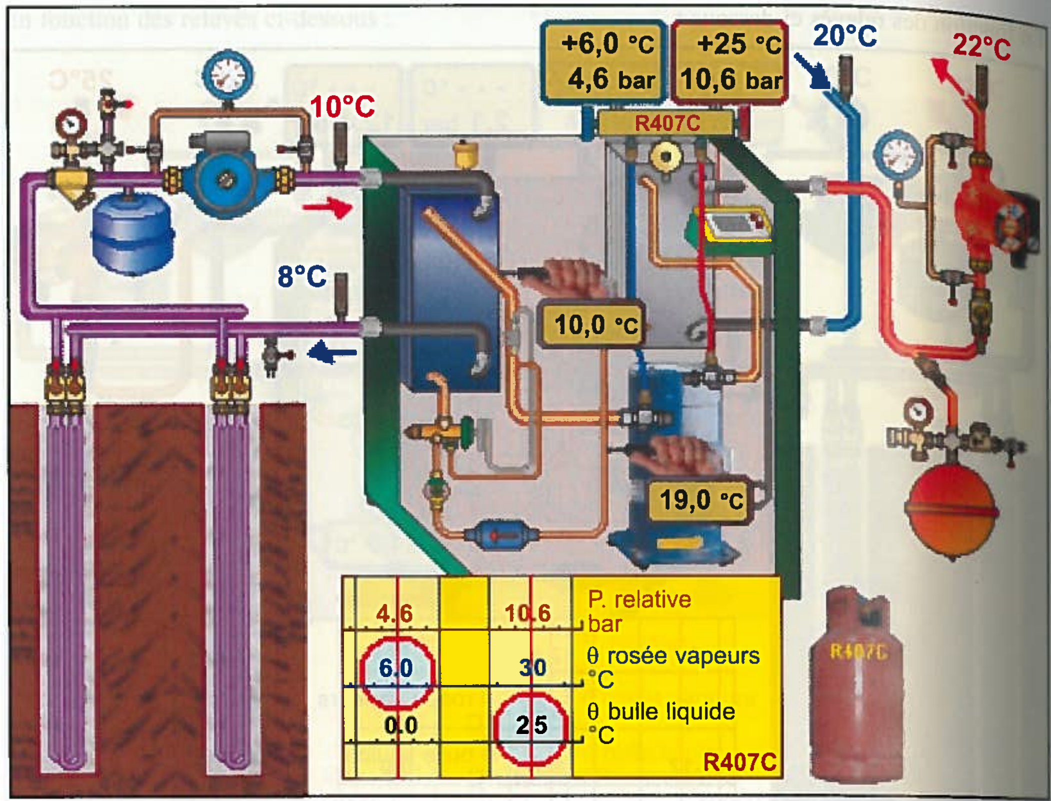
3. Quelle est la température de condensation ? Qu'en pensez-vous ?

4. Quelle est la valeur du sous refroidissement ? Qu'en pensez-vous ?

5. Quelles conclusions en tirez-vous ?

Solution page 656...

CORRECTION DE L'EXERCICE 7



1. Quelle est la température d'évaporation ? Qu'en pensez-vous ?

Avec 4,6 bar à l'aspiration du compresseur, la température d'évaporation est de **6°C** (c'est la température de rosée du R407C).

L'eau glycolée pénétrant à **10°C** dans l'évaporateur, le Delta T total est plutôt faible puisqu'il est égal à **10 - 6 = 4°C** (il est normalement de l'ordre de 5 à 8°C).

Avec une BP aussi élevée, nous ne sommes pas en présence d'une panne BP. Pourtant, le faible Delta T sur l'eau à l'évaporateur (10 - 8 = 2°C au lieu de 3 à 4°C sur ce type de machines) indique à priori un manque de puissance frigorifique.

2. Quelle est la valeur de la surchauffe ? Qu'en pensez-vous ?

La surchauffe est égale à la température au bulbe du détendeur - la température d'évaporation, soit ici **10 - 6 = 4°C** (en l'absence d'une bouteille anti coups de liquide elle est normalement de l'ordre de 4 à 7 °C).

Cette surchauffe plutôt normale indique que l'évaporateur est correctement rempli en liquide. Pourtant, la puissance frigorifique semble bien faible, particulièrement avec de l'eau à 10°C à l'entrée de l'évaporateur.

3. Quelle est la température de condensation ? Qu'en pensez-vous ?

Avec 10,6 bar au refoulement du compresseur, la température de condensation est de **25°C** (c'est-à-dire la température de bulle du R407C).

L'eau du plancher pénétrant à **20°C** dans le condenseur, le Delta T total est égal à **25 - 20 = 5°C** alors qu'il devrait normalement être d'une dizaine de °C).

La HP est donc anormalement faible.

4. Quelle est la valeur du sous refroidissement ? Qu'en pensez-vous ?

Le sous refroidissement est égal à la température de condensation - la température du liquide en sortie condenseur, soit ici **25 - 19 = 6°C** (il est normalement de l'ordre de 4 à 8°C).

Ce sous refroidissement très correct indique qu'il y a suffisamment de liquide dans le condenseur.

5. Quelles conclusions en tirez-vous ?

Avec une BP élevée et une HP anormalement faible, la PAC présente tous les symptômes d'un compresseur trop petit.

Le Delta T sur l'eau du plancher est égal à **22 - 20 = 2°C**, ce qui est anormalement faible (ce Delta T est généralement compris entre 5 et 8°C).

Cela indique sans aucun doute un manque de puissance calorifique qui confirme le manque de puissance frigorifique et valide l'hypothèse du compresseur trop petit.

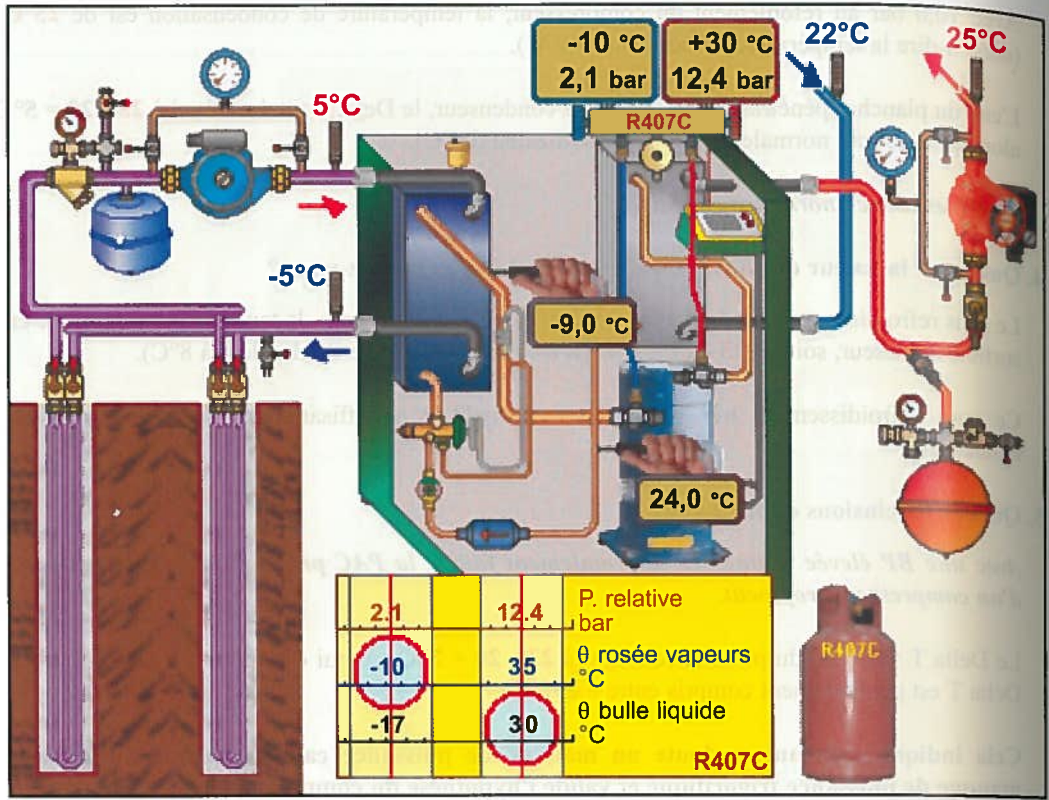
A NOTER : Les compresseurs utilisés sur ces PAC, quelle que soit leur technologie, sont tous de type hermétique et donc irréparables.

La seule chose à faire dans ce cas est alors soit de remplacer le compresseur déficient par un modèle rigoureusement identique, soit de carrément changer la PAC si son ancienneté le justifie et si vous parvenez à convaincre votre client.

Cependant, Il ne suffira pas de remplacer le compresseur si d'importants coups de liquide ont provoqué sa " casse ". En effet, si la cause des coups de liquide n'est pas supprimée, le compresseur neuf connaîtra à plus ou moins long terme exactement le même sort que le précédent !

Notre PAC assure une fonction de " chauffage seul " puisqu'elle n'est pas équipée d'une vanne 4 voies d'inversion de cycle pour passer en mode rafraîchissement. Si c'était le cas, la panne pourrait provenir de la vanne 4 voies (voir corrigé de l'exercice 13 sur les PAC aérothermiques, page 590).

CORRECTION DE L'EXERCICE 8



1. Quelle est la température d'évaporation ? Qu'en pensez-vous ?

Avec 2,1 bar à l'aspiration du compresseur, la température d'évaporation est de **-10°C** (c'est la température de rosée du R407C). L'eau glycolée pénétrant à **5°C** dans l'évaporateur, le Delta T total est anormalement grand puisqu'il est égal à **5** - (**-10**) = **15°C** (il est normalement de l'ordre de 5 à 8°C).

Avec une BP aussi faible, nous sommes en présence d'une panne BP. Le très important Delta T sur l'eau à l'évaporateur de 5 - (-5) = 10°C (au lieu de 3 à 4°C sur ce type de machines) indique à priori un important manque de débit d'eau sur le circuit des sondes.

2. Quelle est la valeur de la surchauffe ? Qu'en pensez-vous ?

La surchauffe est égale à la température au bulbe du détendeur - la température d'évaporation, soit ici -9 - (**-10**) = **1°C**.

Cette PAC n'étant pas équipée d'une bouteille anti coups de liquide, la surchauffe devrait normalement être de l'ordre de 4 à 7 °C, il y a donc un risque non négligeable de coups de liquide qui pourraient être meurtriers pour le compresseur.

La seule panne BP accompagnée d'une surchauffe plutôt faible est celle de l'évaporateur trop petit, ce qui confirme la première hypothèse d'un manque de débit d'eau.

3. Quelle est la température de condensation ? Qu'en pensez-vous ?

Avec 12,4 bar au refoulement du compresseur, la température de condensation est de **30°C** (c'est la température de bulle du R407C).

L'eau du plancher pénétrant à **22°C** dans le condenseur, le Delta T total est égal à **30** - **22** = **8°C** (il est normalement d'une dizaine de °C).

Cette HP un peu faible est la conséquence logique d'une panne BP : la puissance frigorifique étant faible, la puissance rejetée au condenseur l'est également, ce qui explique le faible Delta T de **25** - **22** = **3°C** sur l'eau du plancher.

4. Quelle est la valeur du sous refroidissement ? Qu'en pensez-vous ?

Le sous refroidissement est égal à la température de condensation - la température du liquide en sortie condenseur, soit ici **30** - **24** = **6°C** (il est normalement de l'ordre de 4 à 8°C).

Ce sous refroidissement très correct indique sans aucun doute qu'il y a bien du liquide dans le condenseur.

5. Quelles conclusions en tirez-vous ?

Avec cette BP très faible et cette petite surchauffe, nous sommes bien en face de la panne de l'évaporateur trop petit. Le très important Delta T sur l'eau de 10°C à l'évaporateur indique sans aucun doute un important manque de débit d'eau sur le circuit sonde.

Nous avons parlé à maintes reprises des 2 hypothèses concernant la panne de l'évaporateur trop petit : soit la batterie est sale (dans ce cas le Delta T sur l'eau est plutôt faible), soit il y a un manque de débit d'eau et le Delta T sur l'eau est alors plutôt élevé.

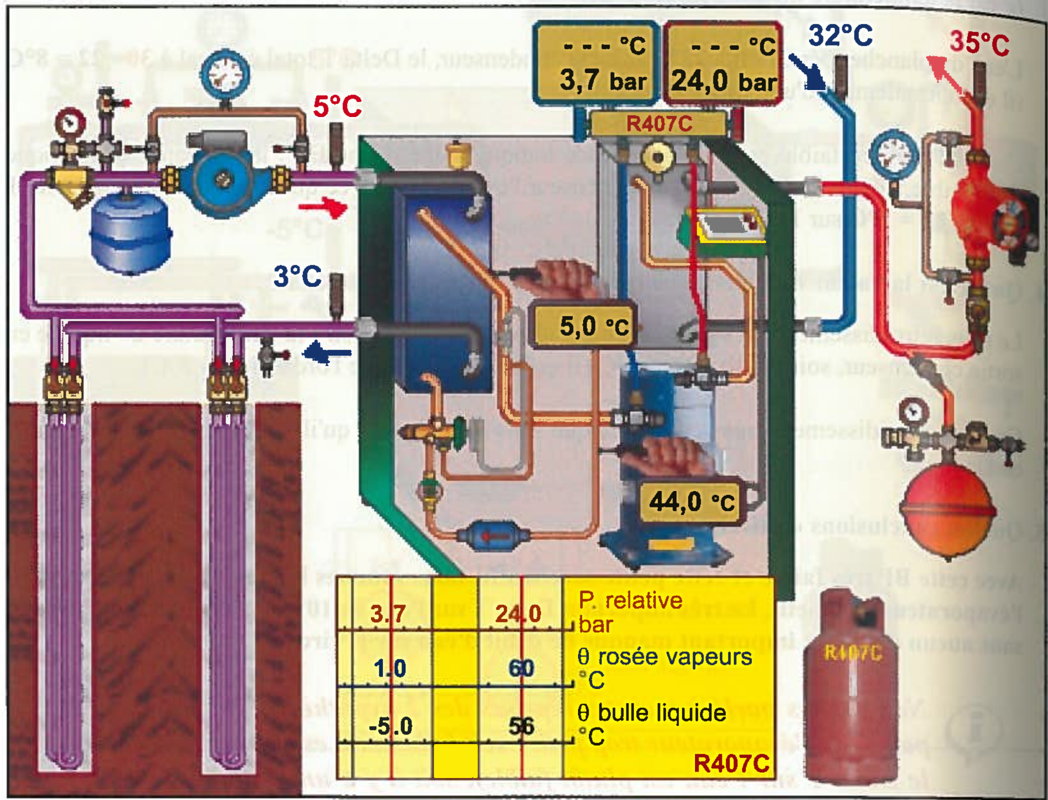
A NOTER : le circuit des sondes géothermiques et de l'échangeur à plaques étant un circuit fermé contenant de l'eau glycolée, la probabilité d'un encrassement est à priori très faible, d'autant plus qu'il y a un filtre fin pour protéger l'évaporateur).

Parmi les causes peuvent être à l'origine d'un manque de débit :

- Le filtre fin n'est-il pas encrassé ?
- La pression de l'eau dans le circuit est-elle correcte ?
- Une vanne n'est-elle pas partiellement fermée sur le circuit ?
- Le circuit n'est-il pas rempli d'air ? Rappelez-vous qu'une importante présence d'air provoque une réduction significative du débit.
- N'y a-t-il pas des bruits anormaux ? Une pompe qui siffle ou qui grogne, un bruit de " glouglou ", etc. sont des indices de mauvais fonctionnement.
- S'il s'agit d'une pompe à vitesse réglable, est-elle sur sa vitesse maximum ou y-a-t-il de la marge ?
- S'il s'agit d'une pompe triphasée, ne tourne-t-elle pas à l'envers ? (*voir page 522*).

EXERCICE 9

En fonction des relevés ci-dessous :



1. Quelle est la température d'évaporation ? Qu'en pensez-vous ?

2. Quelle est la valeur de la surchauffe ? Qu'en pensez-vous ?

3. Quelle est la température de condensation ? Qu'en pensez-vous ?

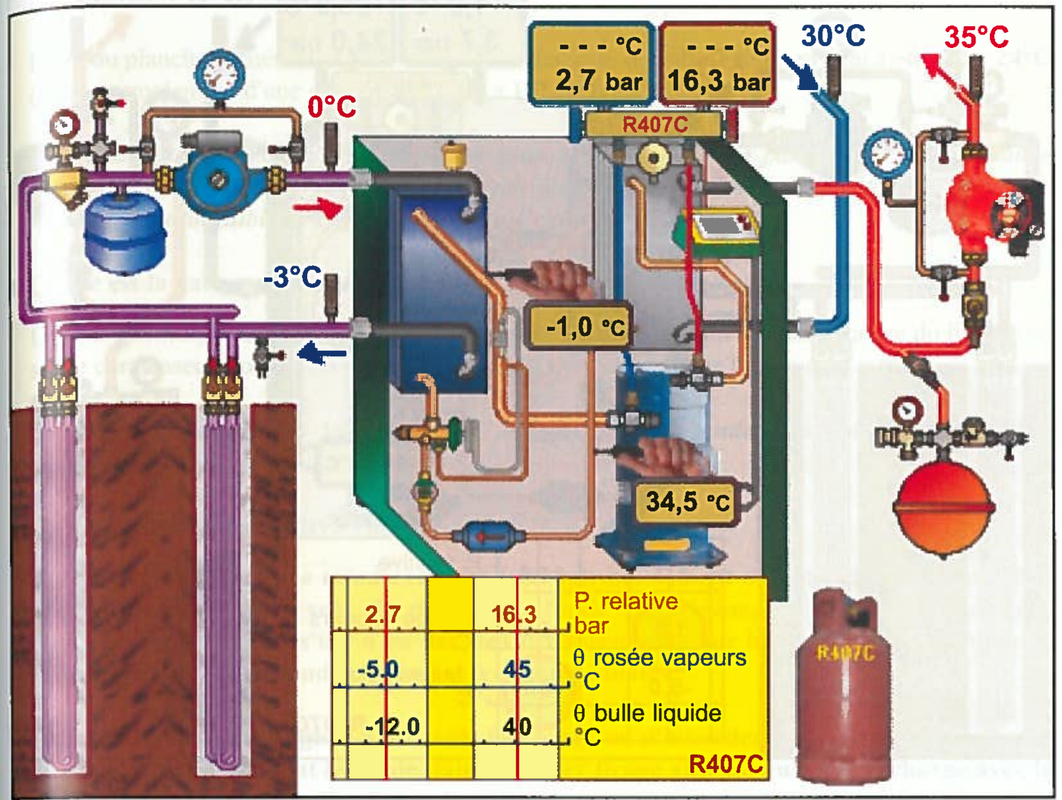
4. Quelle est la valeur du sous refroidissement ? Qu'en pensez-vous ?

5. Quelles conclusions en tirez-vous ?

Solution page 660...

EXERCICE 10

En fonction des relevés ci-dessous :



1. Quelle est la température d'évaporation ? Qu'en pensez-vous ?

2. Quelle est la valeur de la surchauffe ? Qu'en pensez-vous ?

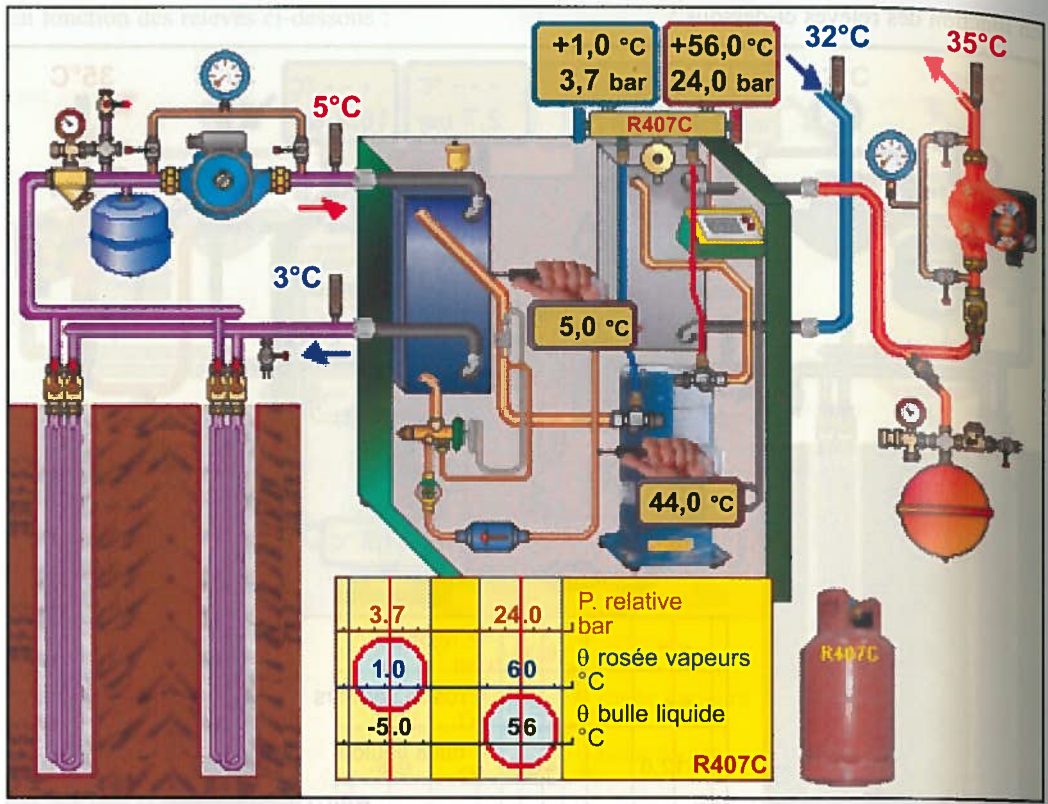
3. Quelle est la température de condensation ? Qu'en pensez-vous ?

4. Quelle est la valeur du sous refroidissement ? Qu'en pensez-vous ?

5. Quelles conclusions en tirez-vous ?

Solution page 662...

CORRECTION DE L'EXERCICE 9



1. Quelle est la température d'évaporation ? Qu'en pensez-vous ?

Avec 3,7 bar à l'aspiration du compresseur, la température d'évaporation est de +1°C (c'est la température de rosée du R407C).

L'eau glycolée pénétrant à 5°C dans l'évaporateur, le Delta T total est plutôt faible puisqu'il est égal à 5 - 1 = **4°C** (il est normalement de l'ordre de 5 à 8°C). La BP est donc légèrement plus élevée que la normale.

Nous ne sommes donc pas en présence d'une panne BP. Pourtant, le faible Delta T sur l'eau à l'évaporateur (5 - 3 = 2°C au lieu de 3 à 4°C sur ce type de machines) indique à priori un manque de puissance frigorifique.

2. Quelle est la valeur de la surchauffe ? Qu'en pensez-vous ?

La surchauffe est égale à la température au bulbe du détendeur - la température d'évaporation, soit ici 5 - 1 = **4°C** (en l'absence de bouteille anti coups de liquide elle est normalement de l'ordre de 4 à 7°C).

Cette surchauffe tout à fait correcte indique que l'évaporateur est bien rempli en liquide. Pourtant, la puissance frigorifique semble un peu faible...

3. Quelle est la température de condensation ? Qu'en pensez-vous ?

Avec 24 bar au refoulement du compresseur, la température de condensation est de 56°C (c'est la température de bulle du R407C).

L'eau du plancher pénétrant à 32°C dans le condenseur, le Delta T total est égal à 56 - 32 = 24°C (il est normalement d'une dizaine de °C). La HP est donc très élevée.

Ce Delta T total très important indique sans aucun doute une panne HP : la puissance frigorifique étant réduite, la puissance rejetée au condenseur l'est également, ce qui explique le Delta T plutôt faible de 35 - 32 = 3°C sur l'eau du plancher.

4. Quelle est la valeur du sous refroidissement ? Qu'en pensez-vous ?

Le sous refroidissement est égal à la température de condensation - la température du liquide en sortie condenseur, soit ici 56 - 44 = **12°C** (il est normalement de l'ordre de 4 à 8°C).

Ce sous refroidissement très important indique que le condenseur est à priori rempli de liquide.

5. Quelles conclusions en tirez-vous ?

Avec une HP trop élevée et un excellent sous refroidissement on peut diagnostiquer sans aucun doute soit un excès de charge en fluide frigorigène, soit une forte présence d'incondensables. Sauf s'il y a eu des travaux récemment sur le circuit frigorifique de la PAC, la présence d'incondensables est très peu probable.

De toute façon, qu'il s'agisse d'un excès de charge ou d'incondensables, la réparation sera la même : récupérer tout le fluide, faire un léger tirage au vide puis une recharge avec la masse de fluide exacte indiquée par le constructeur.

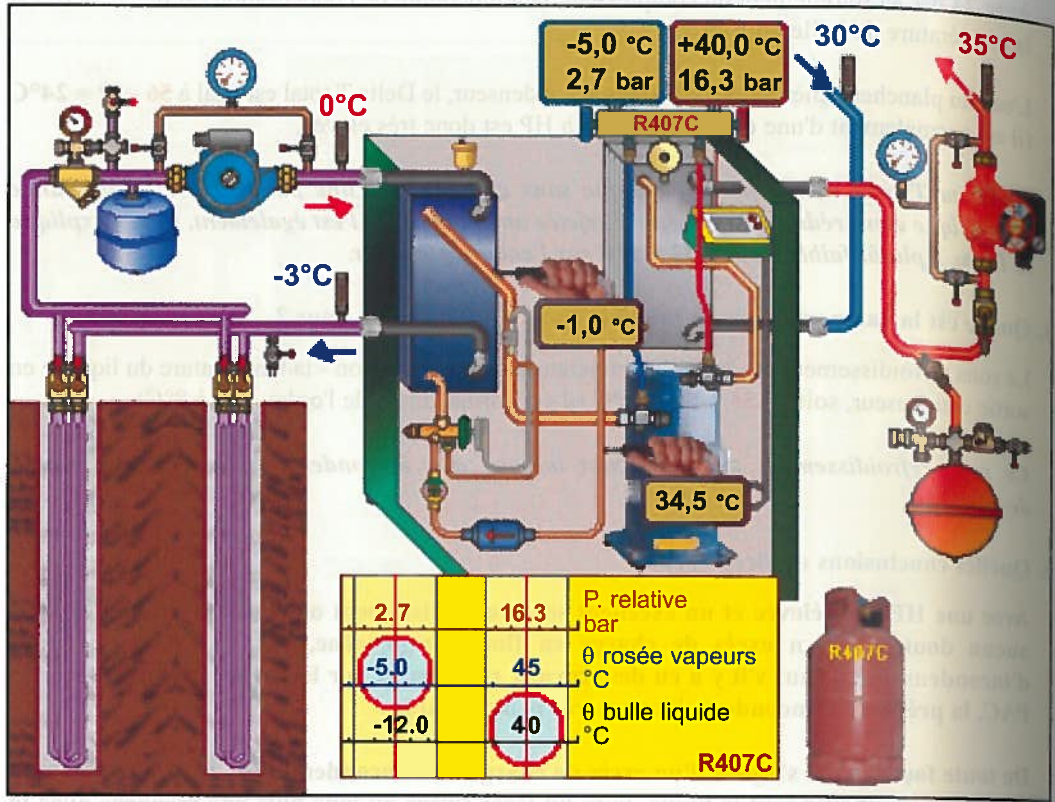
La récupération du fluide frigorigène sur une installation contenant de l'eau nécessite quelques précautions pour éviter qu'un échangeur prenne en glace (voir page 681).

Qu'il s'agisse d'un excès fluide ou d'incondensables, la panne a été obligatoirement provoquée par une erreur humaine. Tirez-en la conclusion qu'on ajoute ou qu'on ne retire pas du fluide " au pif ". Récupérer toute la charge puis refaire une charge complète est la meilleure garantie de ne pas avoir de problème.

A NOTER : Le circuit est équipé d'un voyant liquide indicateur d'humidité possédant un réactif qui change de couleur en présence d'eau. Prenez l'habitude de contrôler ce type de voyant. Si le voyant vire, il faut effectuer un test d'acidité de l'huile, éventuellement la remplacer et obligatoirement changer le déshydrateur en vérifiant qu'il s'agit bien d'un modèle anti-acides.

En effet, rappelons-nous que le mélange fluide frigorigène + eau à la fâcheuse tendance de générer des acides très dévastateurs pour le compresseur !

CORRECTION DE L'EXERCICE 10



1. Quelle est la température d'évaporation ? Qu'en pensez-vous ?

Avec 2,7 bar à l'aspiration du compresseur, la température d'évaporation est de -5°C (c'est la température de rosée du R407C).

L'eau glycolée pénétrant à 0°C dans l'évaporateur, le Delta T total semble tout à fait normal puisqu'il est est égal à 0 - (-5) = 5°C et qu'il est normalement de l'ordre de 5 à 8°C.

La BP étant tout à fait correcte, nous ne sommes pas en présence d'une panne BP.

Le Delta T sur l'eau à l'évaporateur est de 0 - (-3) = 3°C (il est généralement de 3 à 4°C sur ce type de machines) ne donne aucune indication franche puisqu'il semble normal.

2. Quelle est la valeur de la surchauffe ? Qu'en pensez-vous ?

La surchauffe est égale à la température au bulbe du détendeur - la température d'évaporation, soit ici -1 - (-5) = 4°C ce qui semble correct puisqu'en l'absence de bouteille anti coups de liquide elle est normalement de l'ordre de 4 à 7°C.

Cette surchauffe tout à fait normale indique que l'évaporateur est bien rempli en liquide. La BP et le Delta T sur l'eau du circuit sondes étant également corrects, nous n'avons jusqu'à présent aucun indice de panne.

3. Quelle est la température de condensation ? Qu'en pensez-vous ?

Avec 16,3 bar au refoulement du compresseur, la température de condensation est de 40°C (température de bulle du R407C).

L'eau du plancher pénétrant à 30°C dans le condenseur, le Delta T total est égal à 40 -30 = 10°C (il est normalement d'une dizaine de °C).

De même qu'il ne semble pas y avoir de panne BP, le Delta T total tout à fait correct sur le condenseur n'indique pas non plus une panne HP, d'autant que la puissance rejetée au condenseur semble tout à fait normale avec un Delta T très correct de 35 - 30 = 5°C sur l'eau du plancher.

4. Quelle est la valeur du sous refroidissement ? Qu'en pensez-vous ?

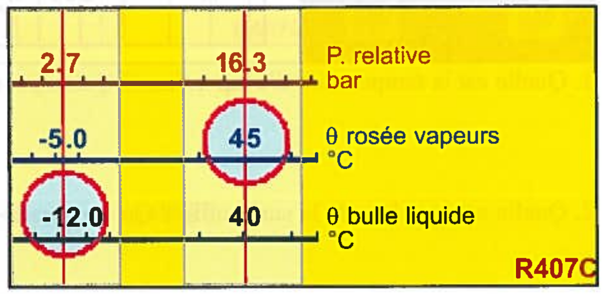
Le sous refroidissement est égal à la température de condensation - la température du liquide en sortie condenseur, soit ici 40 - 34,5 = 5,5°C (il est normalement de l'ordre de 4 à 8°C).

Le sous refroidissement est également très correct, il y a donc bien du liquide dans le bas du condenseur.

5. Quelles conclusions en tirez-vous ?

Tous les paramètres de fonctionnement semblant conformes, nous pouvons diagnostiquer que cette installation fonctionne tout à fait correctement.

A NOTER : si le technicien ne maîtrise pas bien les notions de température de bulle et de température de rosée, il peut croire que la température d'évaporation est égale à -12°C (alors qu'elle est de -5°C).

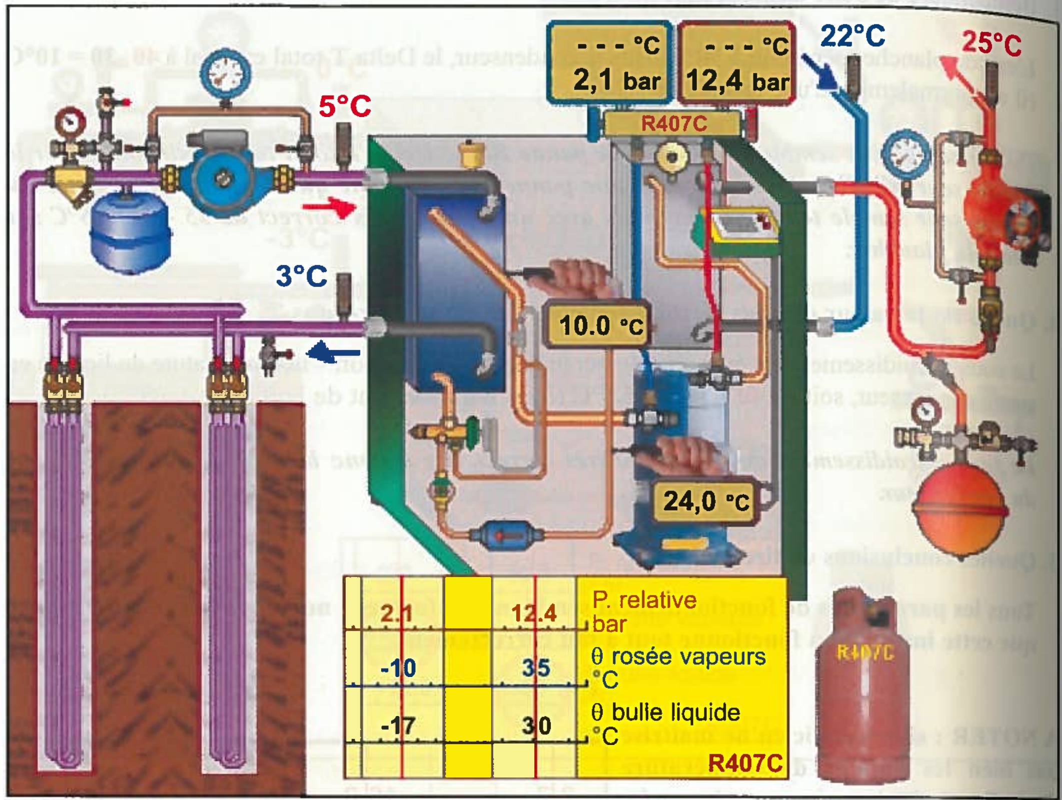


Avec l'eau des sondes pénétrant à 0°C dans l'évaporateur, il va alors conclure à tort à un Delta T total anormalement grand de 12°C et donc rechercher une panne BP qui n'existe pas.

Ce peut être le début de nombreux ennuis, alors soyez vigilant !

EXERCICE 11

En fonction des relevés ci-dessous :



1. Quelle est la température d'évaporation ? Qu'en pensez-vous ?

2. Quelle est la valeur de la surchauffe ? Qu'en pensez-vous ?

3. Quelle est la température de condensation ? Qu'en pensez-vous ?

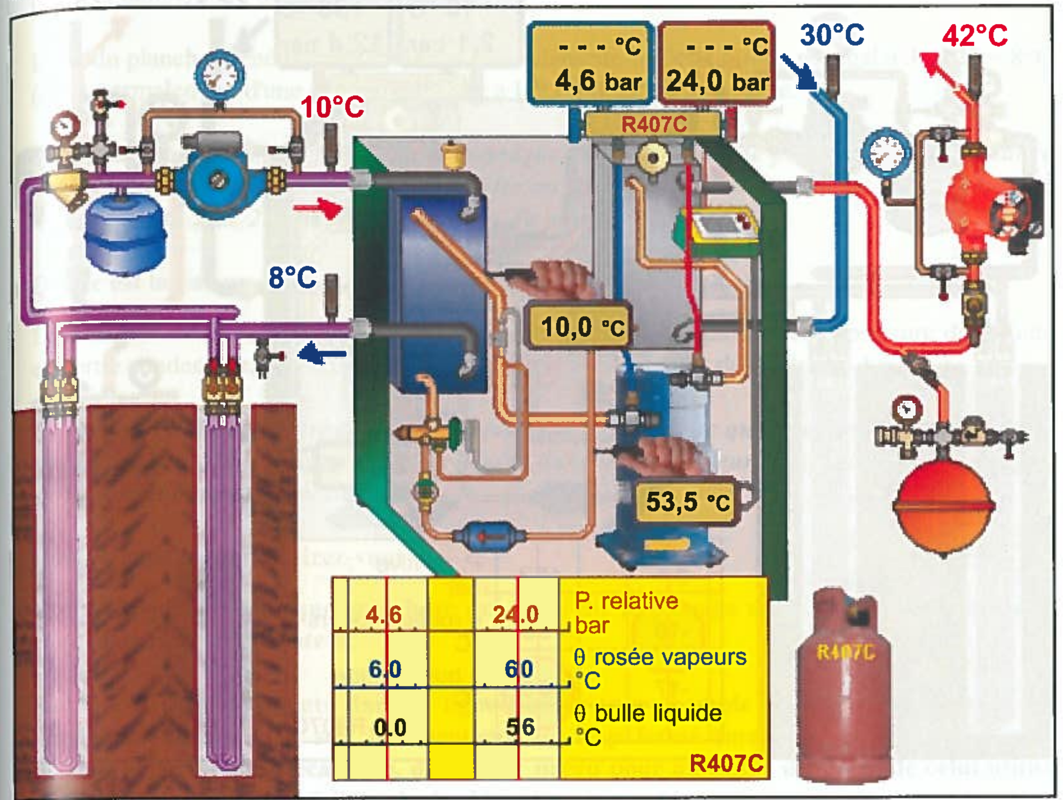
4. Quelle est la valeur du sous refroidissement ? Qu'en pensez-vous ?

5. Quelles conclusions en tirez-vous ?

Solution page 666...

EXERCICE 12

En fonction des relevés ci-dessous :



1. Quelle est la température d'évaporation ? Qu'en pensez-vous ?

2. Quelle est la valeur de la surchauffe ? Qu'en pensez-vous ?

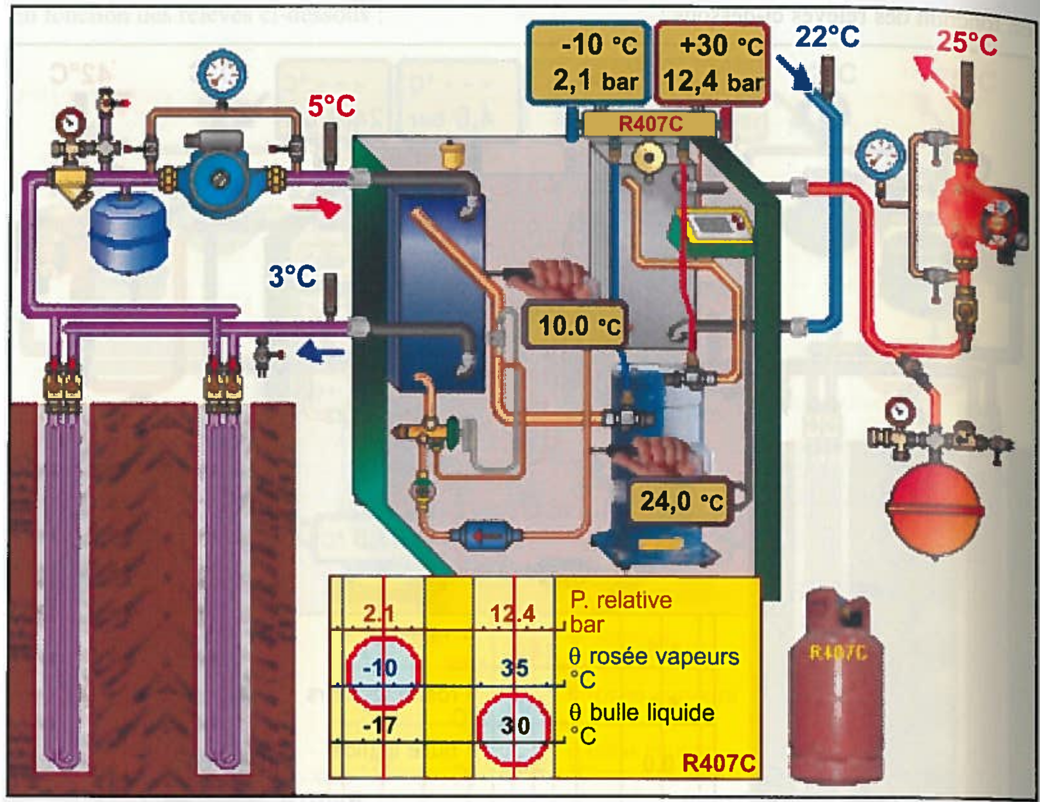
3. Quelle est la température de condensation ? Qu'en pensez-vous ?

4. Quelle est la valeur du sous refroidissement ? Qu'en pensez-vous ?

5. Quelles conclusions en tirez-vous ?

Solution page 668...

CORRECTION DE L'EXERCICE 11



1. Quelle est la température d'évaporation ? Qu'en pensez-vous ?

Avec 2,1 bar à l'aspiration du compresseur, la température d'évaporation est de **-10°C** (c'est la température de rosée du R407C).

L'eau glycolée pénétrant à **5°C** dans l'évaporateur, le Delta T total est anormalement grand puisqu'il est égal à **5** - (**-10**) = **15°C** (il est normalement de l'ordre de 5 à 8°C). La BP est donc anormalement faible.

A l'évidence, nous sommes en présence d'une panne BP. Le manque de puissance frigorifique explique le faible Delta T sur l'eau à l'évaporateur de 5 - 3 = 2°C (au lieu de 3 à 4°C sur ce type de machines).

2. Quelle est la valeur de la surchauffe ? Qu'en pensez-vous ?

La surchauffe est égale à la température au bulbe du détendeur - la température d'évaporation, soit ici une surchauffe très importante de **10** - (**-10**) = **20°C** (en l'absence de bouteille anti coups de liquide elle est normalement de l'ordre de 4 à 7 °C).

Cette surchauffe anormalement élevée indique sans aucun doute, quelle qu'en soit la raison, qu'il manque du liquide dans l'évaporateur, ce qui explique la BP bien trop basse.

3. Quelle est la température de condensation ? Qu'en pensez-vous ?

Avec 12,4 bar au refoulement du compresseur, la température de condensation est de **30°C** (c'est la température de bulle du R407C).

L'eau du plancher pénétrant à **22°C** dans le condenseur, le Delta T total est égal à **30** - **22** = **8°C** (il est normalement d'une dizaine de °C). La HP est donc un peu faible.

Ce Delta T total un peu faible est la conséquence logique d'une panne BP : la puissance frigorifique étant faible, la puissance rejetée au condenseur l'est également, ce qui explique le faible Delta T de 25 - 22 = 3°C sur l'eau du plancher.

4. Quelle est la valeur du sous refroidissement ? Qu'en pensez-vous ?

Le sous refroidissement est égal à la température de condensation - la température du liquide en sortie condenseur, soit ici **30** - **24** = **6°C** (il est normalement de l'ordre de 4 à 8°C).

Ce sous refroidissement très correct indique sans aucun doute qu'il y a bien du liquide dans le condenseur. Mais, puisqu'il y a du liquide dans le condenseur, pourquoi n'y en a-t-il pas suffisamment dans l'évaporateur ?

5. Quelles conclusions en tirez-vous ?

Il y a obligatoirement quelque chose qui empêche le passage normal du liquide entre le condenseur et l'évaporateur.

Soit il y a une prédétente dans la ligne liquide (par exemple le filtre déshydrateur est partiellement colmaté), soit le détendeur est trop fermé (mauvais réglage, bulbe mal positionné, grippage mécanique, détendeur prévu pour un fluide différent de celui utilisé dans l'installation, filtre à l'entrée du détendeur encrassé, etc.).

A NOTER 1 : si c'est le filtre déshydrateur qui est partiellement colmaté, il se comporte comme un mini-détendeur et il y a obligatoirement un Delta T qui apparaît à ses bornes, souvent facile à détecter en posant les mains de part et d'autre de l'appareil.

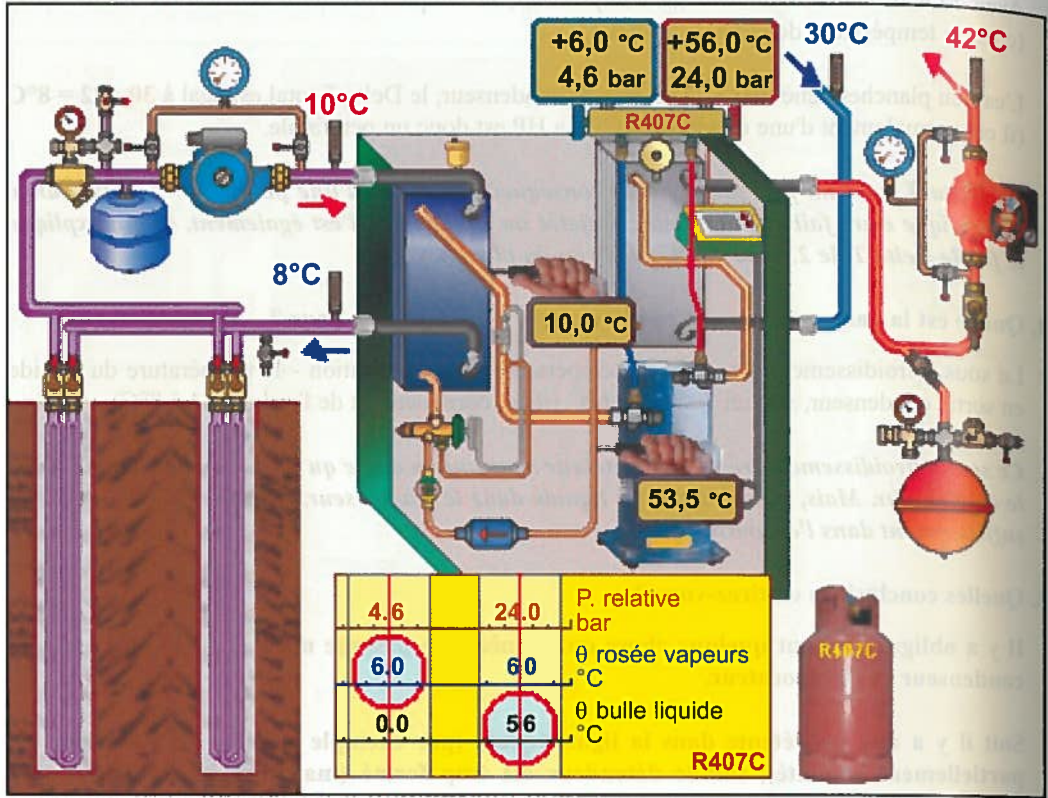
A NOTER 2 : attendu que la prédétente du liquide dans le déshydrateur s'accompagne d'une formation de bulles de vapeur due à la vaporisation d'une partie du liquide, le voyant liquide placé juste après va buller abondamment.

Par contre, vu la disposition des appareils, si le voyant ne bulle pas, c'est que le problème vient du détendeur

A NOTER 3 : dans notre PAC, le voyant liquide est pourvu d'un indicateur d'humidité qui change de couleur en présence d'eau.

Si la couleur du voyant vire, il faut impérativement effectuer un test d'acidité de l'huile, éventuellement la remplacer et obligatoirement changer le déshydrateur en vérifiant qu'il s'agit bien d'un modèle anti-acides.

CORRECTION DE L'EXERCICE 12



1. Quelle est la température d'évaporation ? Qu'en pensez-vous ?

Avec 4,6 bar à l'aspiration du compresseur, la température d'évaporation est de +6°C, ce qui correspond à la température de rosée du R407C).

L'eau glycolée pénétrant à 10°C dans l'évaporateur, le Delta T total est plutôt faible puisqu'il est égal à 10 - 6 = 4°C (il est normalement de l'ordre de 5 à 8°C). La BP est donc plutôt élevée.

Nous ne sommes pas en présence d'une panne BP. Pourtant, le faible Delta T sur l'eau à l'évaporateur (10 - 8 = 2°C au lieu de 3 à 4°C sur ce type de machines) indique à priori un manque de puissance frigorifique.

2. Quelle est la valeur de la surchauffe ? Qu'en pensez-vous ?

La surchauffe est égale à la température au bulbe du détendeur - la température d'évaporation, soit ici **10 - 6 = 4°C** (en l'absence de bouteille anti coups de liquide elle est normalement de l'ordre de 4 à 7°C).

Cette surchauffe tout à fait correcte indique que l'évaporateur est bien rempli en liquide. Pourtant, la puissance frigorifique semble faible...

3. Quelle est la température de condensation ? Qu'en pensez-vous ?

Avec 24 bar au refoulement du compresseur, la température de condensation est de 56°C (c'est la température de bulle du R407C).

L'eau du plancher pénétrant à 30°C dans le condenseur, le Delta T total est égal à 56 -30 = 26°C (il est normalement d'une dizaine de °C). La HP est donc anormalement élevée.

Ce Delta T total très important indique sans aucun doute une panne HP. Le très important Delta T sur l'eau 42 - 30 = 12°C au lieu de 5 à 7°C sur un circuit plancher indique à priori un important manque de débit d'eau dans le plancher.

4. Quelle est la valeur du sous refroidissement ? Qu'en pensez-vous ?

Le sous refroidissement est égal à la température de condensation - la température du liquide en sortie condenseur, soit ici **56 - 53,5 = 2,5°C** (il est normalement de l'ordre de 4 à 8°C).

Ce sous refroidissement très faible confirme la panne du condenseur trop petit.

5. Quelles conclusions en tirez-vous ?

Avec une HP trop élevée, un mauvais sous refroidissement et un grand Delta T sur l'eau, on peut diagnostiquer sans aucun doute un manque de débit d'eau dans le circuit plancher.

RAPPEL : le condenseur utilisé sur notre PAC est un échangeur à plaques brasées, appareil très performant mais fragile car les canaux dans lesquels l'eau circule sont très étroits (*voir page 505*).

Si l'eau est chargée de boues, ce qui n'est pas rare dans les installations de chauffage par plancher, le dépôt de boues dans le condenseur risque non seulement de l'encrasser mais également de le colmater en partie en provoquant une diminution du débit d'eau non négligeable. L'appréciation du Delta T sur l'eau peut alors parfois être délicate.

D'autres causes peuvent être à l'origine d'un manque de débit :

- La pression de l'eau dans le circuit est-elle correcte ? Rappelez-vous que la pression minimale à l'aspiration d'un circulateur doit être de 0,5 bar.
- Une vanne n'est-elle pas partiellement fermée sur le circuit ?
- Le circuit n'est-il pas rempli d'air ? Rappelez-vous qu'une importante présence d'air provoque une réduction significative du débit.
- Les robinets sont-ils bien ouverts sur la clarinette ? Rappelez-vous que ces robinets permettent de régler le débit dans les différentes zones.
- N'y a-t-il pas des bruits anormaux ? Un circulateur qui siffle ou qui grogne, un bruit de " glouglou ", etc. sont des indices de mauvais fonctionnement.
- Sur quelle vitesse le circulateur est-il réglé ? S'il s'agit d'un circulateur à vitesse réglable, est-il sur sa vitesse maximum ou y a-t-il de la marge ?
- S'il s'agit d'un circulateur triphasé, ne tourne-t-il pas à l'envers ? (*voir page 467*).

Dépannage

	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°37 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX	
1	Si une PAC géothermique utilise des capteurs enterrés horizontaux, ceux-ci doivent être enfouis à une profondeur de d'environ 80cm.			1
2	Pour chauffer une maison de 100m avec le système ci-dessus, il faut prévoir une surface minimale de terrain de 600 à 700m²			2
3	Si on utilise un échangeur à plaques comme évaporateur pour le réseau d'eau glycolée l'entrée du fluide frigorigène et l'entrée d'eau sont toutes 2 placées en bas de l'échangeur.			3
4	Afin d'optimiser la surchauffe, le bulbe du détendeur thermostatique doit être placé sur la sortie d'eau de l'échangeur servant d'évaporateur.			4
5	Sur un circuit géothermique, le Delta T sur l'eau glycolée du circuit des capteurs horizontaux enterrés est d'environ 3°C à 6°C.			5
6	Si le compresseur du circuit ci-dessus absorbe 2 kW sur le réseau électrique avec un COP de 3 alors il rejette 6 kW au condenseur.			6
7	Si un évapo présente une perte de charge de 1 mCE avec un débit de 1m³/h, alors sa perte de charge sera de 2 mCE si on double le débit.			7
8	Un pressostat différentiel protège efficacement un évapo contre un manque de débit d'eau mais il ne peut pas réagir contre une obstruction, par exemple contre une prise en glace.			8
9	Pendant le dégivrage d'une PAC géothermique, le compresseur absorbe de la chaleur dans le circuit plancher pour dégivrer le circuit des sondes géothermiques.			9
10	Sur une PAC géothermique réversible il est indispensable d'installer une bouteille anti coups de liquide sur l'aspiration du compresseur.			10

CORRIGÉ DE L'EXERCICE

FAUX VRAI

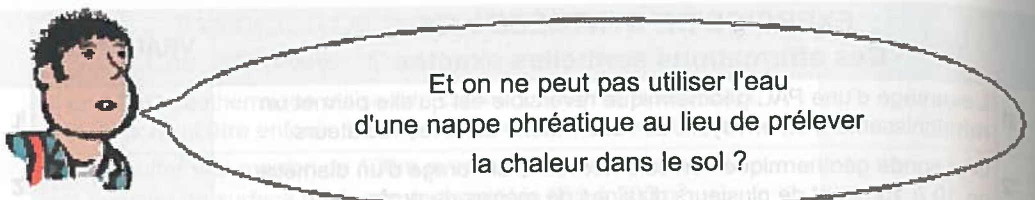
1 : Vrai. Pour conserver une température du sol positive les tubes doivent être enfouis à une profondeur de 60 à 80 cm, et jusqu'à 1,2 m en montagne. - 2 : Faux. Il faut prévoir une surface minimale de terrain de 150 à 200 m², ce qui permettra à la PAC de fonctionner avec un COP voisin de 4. - 3 : Vrai. Le liquide frigorigène doit obligatoirement pénétrer dans l'évapo par le bas et l'eau la plus chaude doit arriver dans la zone de surchauffe en haut de l'échangeur. - 4 : Faux. Le bulbe du détendeur thermostatique doit mesurer la température des vapeurs surchauffées à la sortie de l'évaporateur. - 5 : Vrai. Et la température de retour d'eau évolue en général entre 7°C et 0°C selon la saison et le temps de fonctionnement journalier de la PAC (4°C est une moyenne). - 6 : Vrai. Si PAC rejette 6 kW au condenseur en absorbant 2 kW son COP est effectivement égal à 6 / 2 = 3. - 7 : Faux. La perte de charge varie comme le carré du débit. Si le débit double, la PdC est multipliée par 4 ! - 8 : En cas d'obstruction dans l'échangeur, le pressostat différentiel mesure un Delta P plus important et il ne peut donc absolument pas couper. C'est le défaut de cet appareil, il ne réagit pas contre une obstruction dans l'échangeur qu'il protège. - 9 : Faux. Sous nos climats, avec les PAC géothermiques récupérant la chaleur du sol, il n'y a pas de risque de gel et aucun dégivrage n'est à prévoir. - 10 : A chaque inversion de cycle, lorsque le condenseur devient évaporateur, le liquide précédemment contenu dans le condenseur est propulsé massivement vers le compresseur et sans bouteille, d'importants coups de liquide pourraient détruire le compresseur.

	EXERCICE DE SYNTHÈSE n°38 : Ces affirmations sont-elles exactes ?	VRAI	FAUX	
1	L'avantage d'une PAC géothermique réversible est qu'elle permet un rafraîchissement en envoyant de l'eau fraîche dans les radiateurs.			1
2	Une sonde géothermique verticale nécessite un forage d'un diamètre de 10 à 15 cm et de plusieurs dizaines de mètres de profondeur.			2
3	Lorsqu'il y a plusieurs sondes verticales, elles doivent être espacées au minimum de 20m et aucune sonde ne doit être placée à une distance inférieure à 15m de la PAC ou des locaux chauffés.			3
4	Avec des sondes géothermiques verticales, la température de l'eau glycolée est plus élevée au début qu'à la fin de l'hiver.			4
5	Si l'eau glycolée entre dans les sondes verticales à 0°C et en ressort à -3°C le départ eau chaude vers le plancher est d'environ 35°C.			5
6	La chaleur rejetée à l'évaporateur est égale à la chaleur absorbée au condenseur + la chaleur de compression du compresseur.			6
7	La puissance en kW d'un échangeur est égale au débit d'eau en m³/h qui le traverse multiplié par le Delta T sur cette eau multiplié par 1,16.			7
8	Plus le Delta T_{total} à l'évapo est important et plus la BP est importante.			8
9	En l'absence d'une bouteille anti-coups de liquide on considère que la surchauffe au bulbe du détendeur ne devrait pas être inférieure à 4°C.			9
10	Plus le Delta T_{total} au condenseur est important et plus la HP est importante.			10
11	Le sous refroidissement est égal à la température du liquide en sortie condenseur - la température de condensation.			11

CORRIGÉ DE L'EXERCICE

VRAI FAUX

1 : Faux. Avec de l'eau fraîche, il y aurait tellement de condensation sur toute la surface des radiateurs que la villa deviendrait rapidement une vraie piscine ! En fait, cela ne pourrait être envisageable qu'avec des ventilo-convecteurs dimensionnés à l'origine pour cette application et dont les bacs à condensats seraient bien raccordés à l'égout. - 2 : Vrai. Et une sonde peut prélever de l'ordre de 20 à 50 W par mètre de profondeur (40 W/m étant une valeur moyenne). - 3 : Faux. Elles doivent être espacées au minimum de 10m et espacées au minimum de 3m de la PAC ou des locaux chauffés. - 4 : Vrai. Pendant l'hiver, de la chaleur est extraite au sous-sol par la PAC et petit à petit, le sol va se refroidir en périphérie des sondes et la température de l'eau glycolée va diminuer de plus en plus. - 5 : Faux. C'est l'inverse, l'eau glycolée entre dans les sondes à -3°C et en sort à 0°C. - 6 : Faux. C'est le contraire, le condenseur permet de chauffer le plancher en lui transmettant la puissance absorbée à l'évaporateur + la puissance absorbée par le compresseur. 7 : Vrai. Puissance (kW) = Débit (m3/h) x Delta T (°C) x 1,16. - 8 : Faux. C'est l'inverse, un grand Delta T_{total} signifie une faible BP. - 9 : Vrai. en l'absence d'une bouteille anti coups de liquide la surchauffe devrait se situer entre 4 et 7°C. - 10 : Vrai. Plus le Delta T_{total} au condenseur est élevée et plus la HP est importante. - 11 : Faux. C'est l'inverse, le sous refroidissement est égal à la température de condensation - la température du liquide en sortie condenseur.



Dans certains cas, il est en effet possible de pomper de la chaleur dans l'eau d'un lac, d'une rivière ou d'une nappe phréatique.

La température de l'eau d'une rivière ou d'un lac varie selon le lieu et la saison. Par exemple, certains lacs gèlent en hiver ! A l'inverse, l'eau d'une nappe phréatique a une température relativement stable tout au long de l'année, de l'ordre de 10 à 12°C en France métropolitaine.

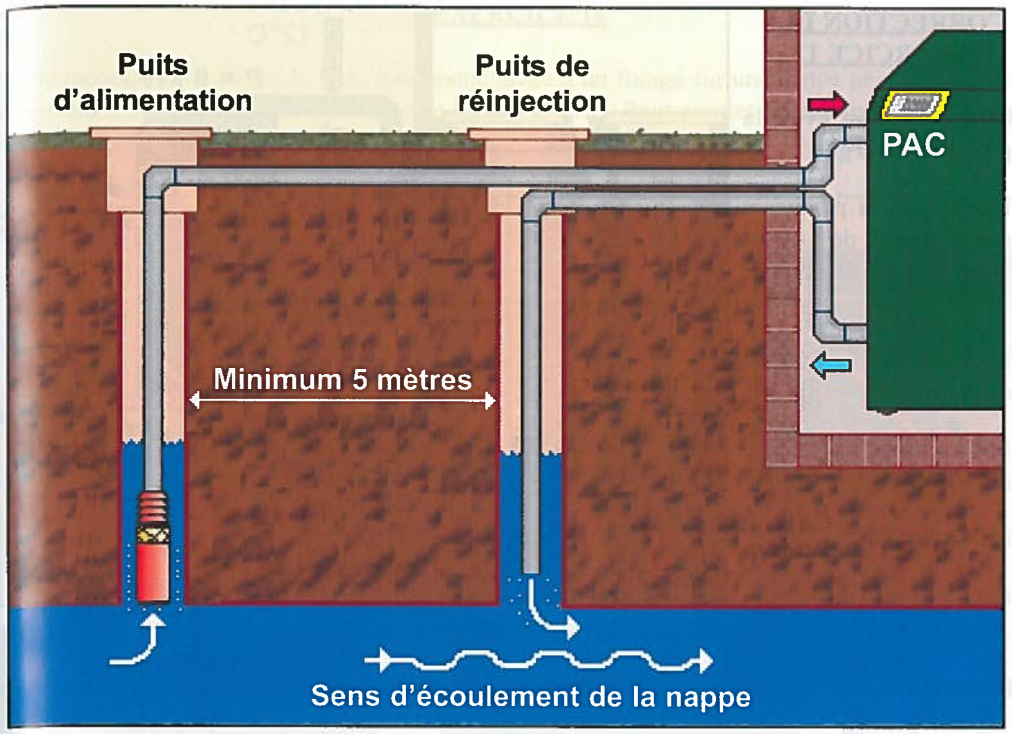
La température de l'eau puisée variant peu, le COP de la PAC reste en permanence très bon (autour de 5) et aucun chauffage d'appoint n'est normalement nécessaire, ce qui rend cette solution à priori particulièrement intéressante.

Cependant, même si une nappe est localement présente en sous-sol, son utilisation n'est pas toujours possible car il y a de multiples restrictions :

- **La réglementation** est complexe et elle peut varier d'un endroit à un autre. Il faut donc se renseigner localement et obtenir une autorisation administrative.
- **La quantité d'eau disponible** peut varier énormément entre l'été et l'hiver, voire s'épuiser complètement après un été peu pluvieux. La PAC ne pourra plus fonctionner si la nappe phréatique est à sec !
- **La qualité de l'eau** est un critère également très important. Certaines eaux peuvent être très agressives et nécessiter des matériaux adaptés et donc très chers (pompe, échangeur, tuyauterie, etc.). L'eau est parfois très chargée en dépôts divers (sable, boues, sels minéraux en grosse quantité, etc.) ce qui nécessite une filtration très efficace et une maintenance soutenue.
- **La profondeur à laquelle se trouve la nappe** est primordiale. Plus la nappe est profonde, plus les travaux de forage sont onéreux (2 puits sont nécessaires) et plus la pompe de puisage de l'eau devra être puissante et donc gourmande en électricité, au détriment du COP annuel. On admet généralement qu'une quinzaine de mètres est un maximum.
- **Un spécialiste en hydrologie** devra déterminer si la nappe est exploitable. Cela nécessite généralement une opération de forage pour procéder à des analyses et à des tests, ce qui génère des frais non négligeables et quelques soucis lorsqu'à l'issue des tests on diagnostique que la nappe n'est pas exploitable.

Le schéma de principe d'une PAC utilisant l'eau d'une nappe phréatique est représentée sur la page ci-contre.

Chaque puits est équipé d'un tubage cimenté afin d'éviter l'effondrement du sol. Le tube de puisage est souvent en Polyéthylène haute densité (PEHD) dont la flexibilité facilite l'extraction de la pompe pour son entretien, particulièrement pour le nettoyage de la crépine.



Les 2 puits doivent être suffisamment éloignés l'un de l'autre (5 m est un minimum) afin qu'aucun recyclage ne soit possible entre l'eau pompée et l'eau réinjectée. Leur emplacement doit donc être déterminé avec soin par rapport au sens d'écoulement de la nappe.

Il est primordial que l'eau contenue dans les tubes reliant les puits et la PAC ne puisse pas geler, même si la PAC est à l'arrêt. Le tracé des tuyauteries et leur profondeur d'enfouissement doit être déterminé en conséquence.

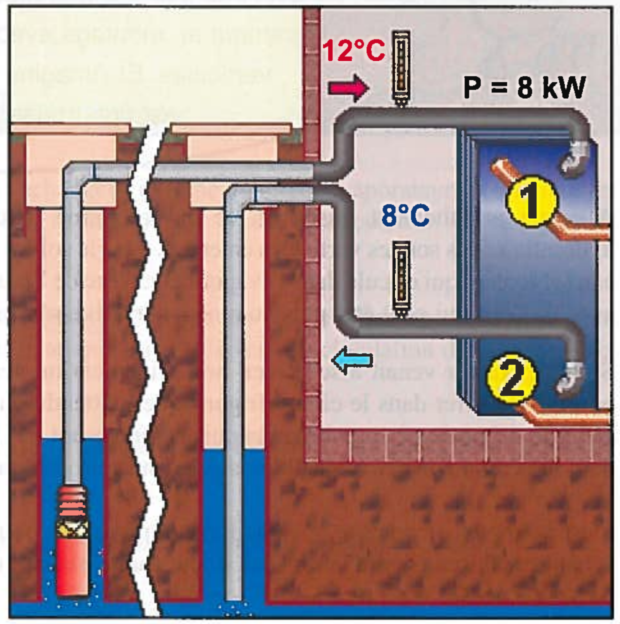
EXERCICE 13

Sur le montage simplifié ci-contre, un échangeur à plaques d'une puissance de 8 kW sert d'évaporateur à une PAC.

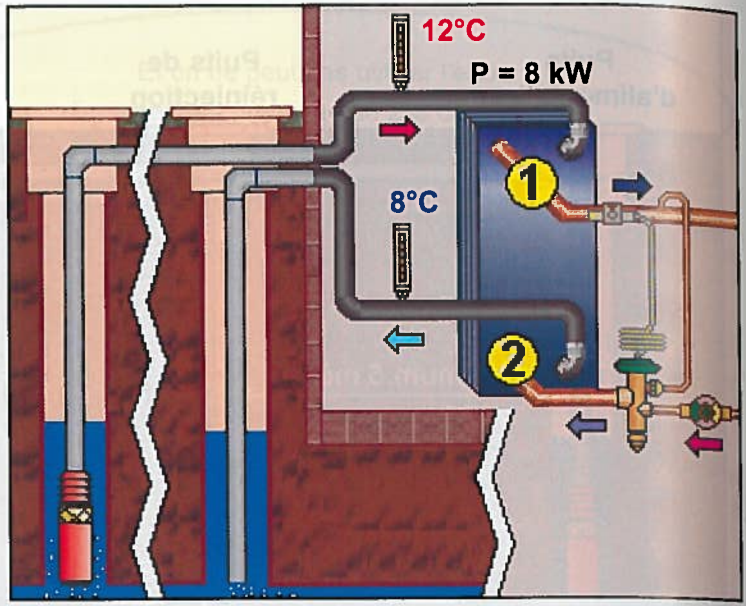
Le Delta T sur l'eau de nappe est de 4°C (il est généralement compris entre 3 et 5°C avec ce type d'application).

1. Quel débit doit avoir la pompe ?
2. Dans quel état physique le fluide frigorigène se trouve-t-il en **1** et en **2** et dans quel sens circule-t-il ?

Solution page suivante...



CORRECTION DE L'EXERCICE 13



1. Quel débit doit avoir la pompe immergée ?

L'échangeur à plaques a une puissance de 8 kW et le Delta T sur l'eau est de 4°C.

En appliquant la formule de la *page 551* :

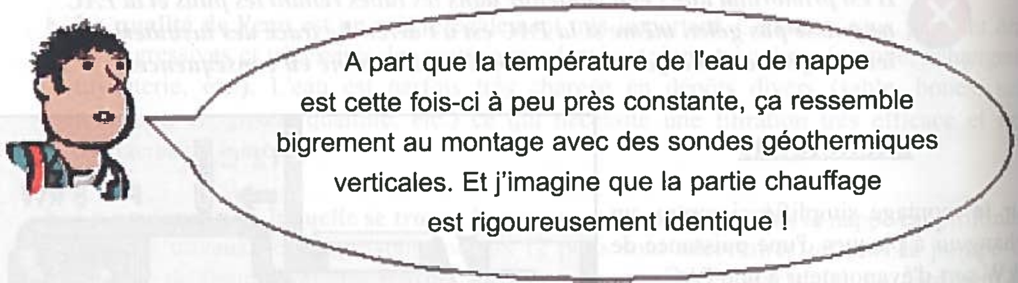
P *(en kW)* = 1,16 x Qv *(en m³/h)* x Delta T

On obtient :

Qv = P / (1,16 x Delta T)
= 8 / (1,16 x 4) = **1,7 m³/h.**

2. Dans quel état physique le fluide frigorigène se trouve-t-il en 1 et en 2 et dans quel sens circule-t-il ?

Comme nous l'avons vu dans l'exercice de la *page 631*, le liquide qui sort du détendeur doit pénétrer dans l'évaporateur par le bas et à contre courant du sens de l'eau (**repère** 2) et les vapeurs surchauffées doivent sortir de l'évaporateur par le haut (**repère 1**).



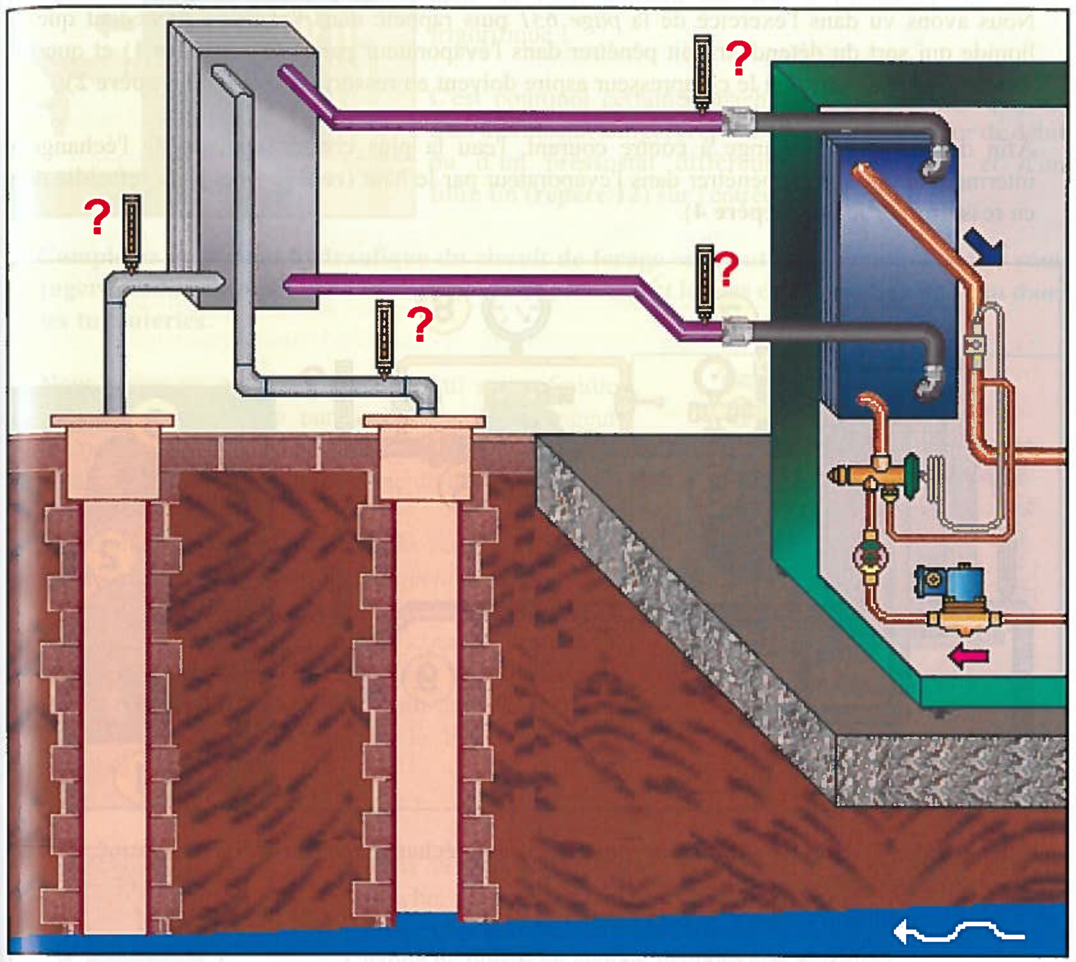
Alexis a parfaitement raison en ce qui concerne le circuit chauffage. Cependant, le circuit hydraulique des sondes verticales enterrées dans le sol est un circuit fermé et c'est toujours la même eau (glycolée) qui circule dans l'évaporateur. Avec de l'eau de forage, on a affaire à un circuit ouvert avec de l'eau qui peut être plus ou moins agressive sur les matériaux.

Si l'évaporateur venait à se percer, non seulement on perdrait le fluide frigorigène mais de l'eau pourrait pénétrer dans le circuit frigorifique ! Attendu que eau + fluide = acides très agressifs, ce serait le début de très nombreux ennuis commençant par la destruction du moteur du compresseur dont les enroulements, ne l'oublions pas, sont refroidis par les vapeurs de fluide frigorigène.

C'est pourquoi de nombreux constructeurs imposent, pour assurer leur garantie, l'installation d'un échangeur intermédiaire entre l'eau d'une nappe phréatique et leur évaporateur...

EXERCICE 14

Sur le montage ci-dessous, la PAC fonctionne grâce à un forage sur une nappe phréatique dont la température est quasiment constante toute l'année à 12°C. Pour assurer la garantie, le fabricant de la PAC impose l'installation d'un échangeur intermédiaire.



1. Complétez le schéma du circuit entre l'échangeur intermédiaire et l'évaporateur en ajoutant les appareils que vous jugerez indispensables et en indiquant le sens de circulation de l'eau dans les tuyauteries.

2. Complétez le schéma hydraulique du circuit de forage en ajoutant les appareils que vous jugerez indispensables et en indiquant la température et le sens de circulation de l'eau dans les tuyauteries.

3. Quelle est la conséquence du rajout de l'échangeur intermédiaire sur le COP de la PAC ? Pourquoi ?

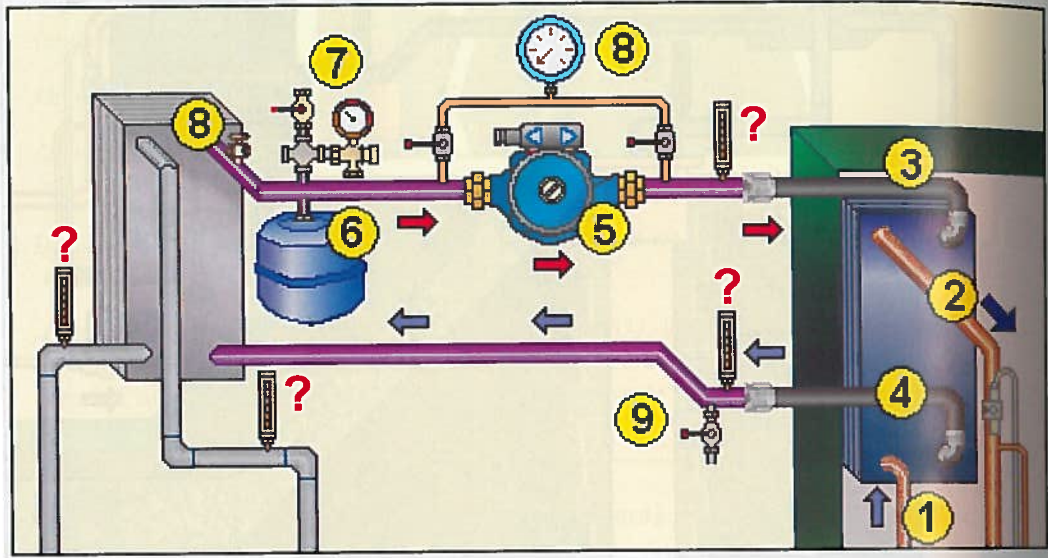
Correction page suivantes, mais ne tournez pas la page trop vite...

CORRECTION DE L'EXERCICE 14

1. Complétez le schéma du circuit entre l'échangeur intermédiaire et l'évaporateur en ajoutant les appareils que vous jugerez indispensables et en indiquant le sens de circulation de l'eau dans les tuyauteries.

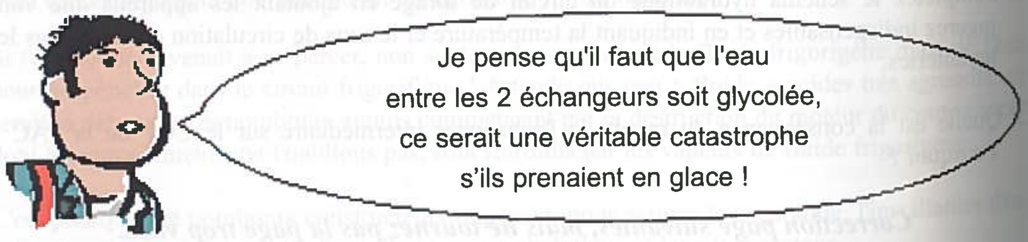
Nous avons vu dans l'exercice de la *page 631* puis rappelé dans l'exercice précédent que le liquide qui sort du détendeur doit pénétrer dans l'évaporateur par le bas (**repère 1**) et que les vapeurs surchauffées que le compresseur aspire doivent en ressortir par le haut (**repère 2**).

Afin de respecter l'échange à contre courant, l'eau la plus chaude arrivant de l'échangeur intermédiaire doit donc pénétrer dans l'évaporateur par le haut (**repère 3**) et l'eau refroidie doit en ressortir par le bas (**repère 4**).

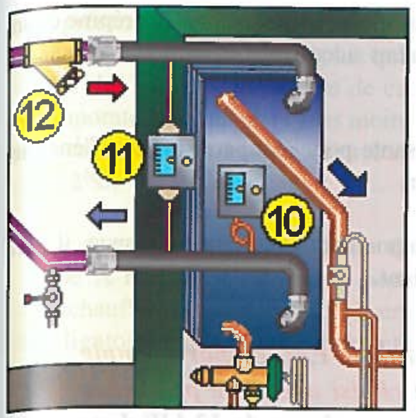


Attendu que le circuit hydraulique qui relie les 2 échangeurs est un circuit fermé, il faut obligatoirement prévoir :

- Un circulateur (**repère 5**) pour assurer le débit
- Un vase d'expansion (**repère 6**) pour compenser les variations de température de l'eau.
- Une soupape de sécurité et une vanne de remplissage (**repère 7**).
- Un purgeur au point haut pour évacuer l'air lors du remplissage (**repère 8**)
- Une vanne de vidange en point bas (**repère 9**).
- En option, un mano monté en différentiel (**repère 8**) sur le circulateur pourrait rendre bien des services à la mise en route et pour la maintenance ultérieure.



C'est aussi votre avis ?

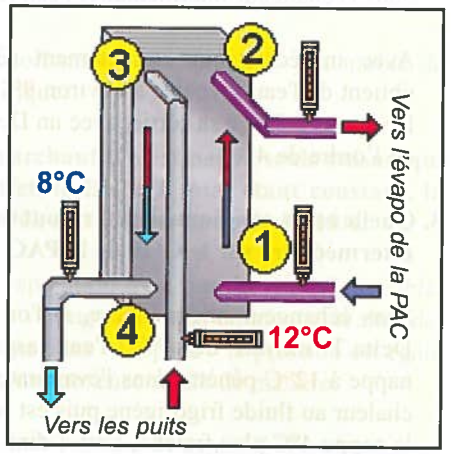


Alexis a parfaitement raison. L'échangeur intermédiaire doit être placé dans un local hors gel (à l'intérieur de la maison) et l'eau doit être glycolée. De plus, rappelons-nous le rôle de l'échangeur intermédiaire : si l'évaporateur venait à se percer, non seulement on perdrait le fluide frigorigène mais de l'eau pourrait pénétrer à l'intérieur du circuit frigorifique !

C'est pourquoi certaines machines peuvent être équipées d'un thermostat antigel (**repère 10**), d'un contrôleur de débit ou d'un pressostat différentiel (**repère 11**) et d'un filtre fin (**repère 12**) sur l'entrée de l évaporateur.

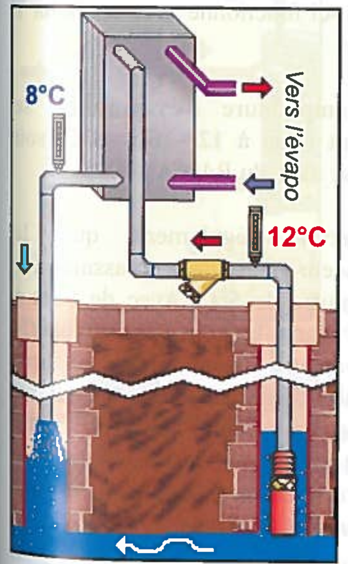
2. Complétez le schéma hydraulique du circuit de forage en ajoutant les appareils que vous jugerez indispensables et en indiquant la température et le sens de circulation de l'eau dans les tuyauteries.

Nous avons vu que l'eau glycolée qui sort refroidie de l'évaporateur entre par le bas dans l'échangeur intermédiaire (**repère 1**) et en ressort réchauffée par le haut (**repère 2**) : elle circule donc de bas en haut.



Reprenons notre exemple avec de l'eau de nappe à 12°C et un Delta T tout à fait fréquent de 4°C.

Pour respecter l'échange à contre courant, l'eau de la nappe doit circuler de haut en bas, c'est-à-dire que l'eau à 12°C doit entrer par le haut dans l'échangeur (**repère 3**) et en ressortir par le bas (**repère 4**) refroidie à 8°C.



Dans la nappe phréatique, l'eau circule de la droite vers la gauche. La pompe immergée doit donc aspirer dans le puits de droite afin que l'eau refroidie qui est réinjectée à gauche dans la nappe ne puisse en aucune manière être réaspirée.

Comme nous l'avons vu plusieurs fois, un échangeur à plaques est appareil très performant mais fragile car les canaux dans lesquels l'eau circule sont très étroits.

L'échangeur intermédiaire étant un appareil de ce type, il est impératif d'éviter qu'il puisse se colmater, ce qui provoquerait une importante diminution du débit d'eau et donc des pannes à répétition sur le circuit frigorifique.

Si la crépine d'aspiration de la pompe était équipée d'un filtre très fin, il pourrait se colmater très rapidement et il faudrait à chaque fois sortir la pompe du puits pour le nettoyer...

Pompes à chaleur

Afin d'éviter d'extraire trop souvent la pompe, on utilise un filtre " grossier " sur la crépine et on installe un filtre plus fin (filtration à 0,5 mm), facilement accessible et nettoyable, sur la tuyauterie d'aspiration.

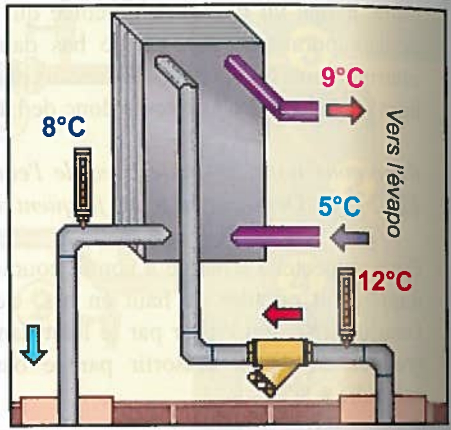
L'échangeur intermédiaire doit avoir une puissance suffisante pour récupérer le plus d'énergie possible dans l'eau du puits et la transférer à l'évaporateur.

Cependant, le prix et l'encombrement des échangeurs augmentant avec leur puissance, il faut trouver un bon compromis entre puissance et prix de revient.

Généralement, si la puissance frigorifique de la PAC est par exemple de 10 kW, l'échangeur intermédiaire est choisi avec une puissance supérieure d'environ 20%, c'est-à-dire aux environs de 12 kW dans cet exemple.

Sans l'échangeur intermédiaire, l'eau rentrerait directement à 12°C dans l'évaporateur.

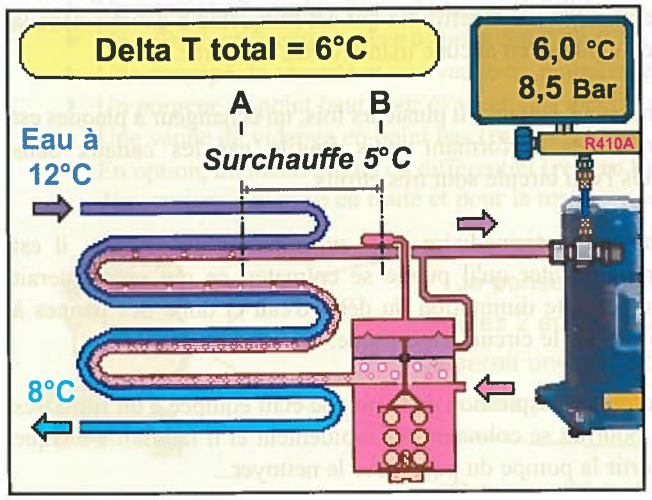
Avec un échangeur correctement sélectionné on obtient de l'eau glycolée à environ 9°C à l'entrée de l'évapo et à 5°C à sa sortie, avec un Delta T sur l'eau de l'ordre de 4°C.



3. Quelle est la conséquence du rajout de l'échangeur intermédiaire sur le COP de la PAC ? Pourquoi ?

Sans échangeur intermédiaire, si l'on considère un Delta T moyen de 4°C, l'eau aspirée dans la nappe à 12°C pénètre dans l'évaporateur, cède de la chaleur au fluide frigorigène puis est réinjectée dans la nappe 4°C plus fraîche, c'est-à-dire à 8°C.

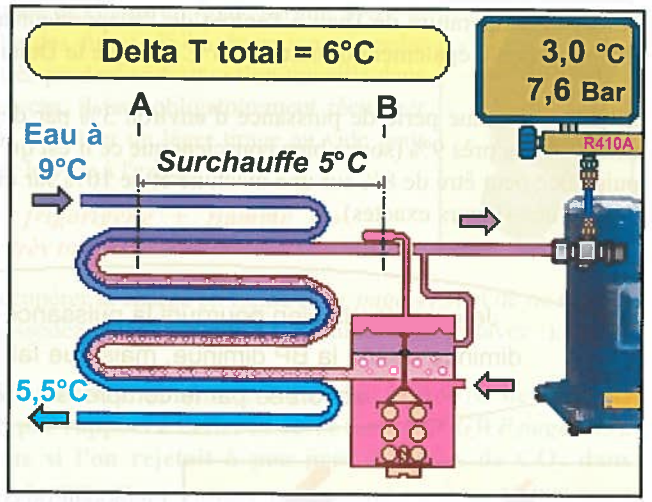
L'eau pénétrant à 12°C dans l'évaporateur, admettons que celui-ci fonctionne avec un Delta T total de 6°C.



La température d'évaporation se produit donc à 12 - 6 = 6°C, soit 8,5 bar avec du R410A.

Admettons également que le détendeur soit réglé pour assurer une surchauffe de 5°C. Avec de l'eau à 12°C dans la zone de surchauffe des vapeurs, disons que la longueur de tube comprise entre **A** et **B** est nécessaire pour assurer cette surchauffe *(au besoin, revoir le fonctionnement des détendeurs thermostatiques page 574).*

A présent, si l'eau qui arrive dans le haut de l'évaporateur n'est plus qu'à 9°C, les vapeurs qui sortent de cet évaporateur seront chauffées moins intensément que lorsque l'eau était à 12°C.



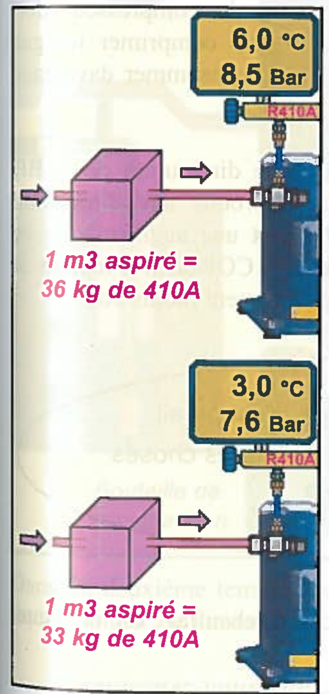
En conséquence, la longueur de tube **A-B** qui est nécessaire pour surchauffer les vapeurs de 5°C sera obligatoirement plus importante qu'avec de l'eau à 12°C.

C'est dire que l'évaporateur contiendra moins de liquide bien que la surchauffe soit toujours de 5°C, exactement comme dans l'exemple précédent.

Mais, s'il y a moins de liquide qui s'évapore en absorbant de la chaleur, il y a moins de puissance frigorifique, donc moins de puissance calorifique.

En fait, l'augmentation de la longueur de la zone de surchauffe n'est pas la seule raison qui explique la baisse de la puissance frigorifique. En effet, le Delta T total étant constant, la température d'évaporation se produit alors à 9 - 6 = 3°C, soit 7,6 bar avec du R410A.

Cette diminution de la température et de la pression d'évaporation n'est pas du tout négligeable. Pour le comprendre, rappelons-nous de ce que nous avons vu *page 32* : plus on monte en altitude, ***plus la pression diminue*** et ***moins il y a de matière*** puisque dans " l'espace " la pression est égale au vide absolu, c'est-à-dire une absence totale de matière.



Ces rappels étant faits, admettons que la capacité d'aspiration du compresseur soit par exemple de 1m³/h de vapeurs.

Avec une BP est de 8,5 bar, les tables du R410A nous indiquent que chaque m³ de vapeurs que le compresseur aspire représente une masse d'environ 36 kg. Or, c'est la vaporisation de 36 kg de liquide qui se transforment dans l'évaporateur en 36 kg de vapeurs qui produit la puissance frigorifique servant à refroidir l'eau.

A présent, Si la BP chute à 7,6 bar, chaque m³ de vapeurs que le compresseur aspire ne représente plus qu'une masse d'environ 33 kg de R410A. Puisqu'il n'y a plus que 33 kg qui absorbent de la chaleur dans l'évaporateur la puissance frigorifique est obligatoirement plus faible.

Nous avons vu *page 558* que plus la température de l'air à l'entrée de l'évaporateur d'une PAC Air/Eau diminue, plus la puissance de chauffe de cette PAC diminue (d'environ 3% par °C de diminution).

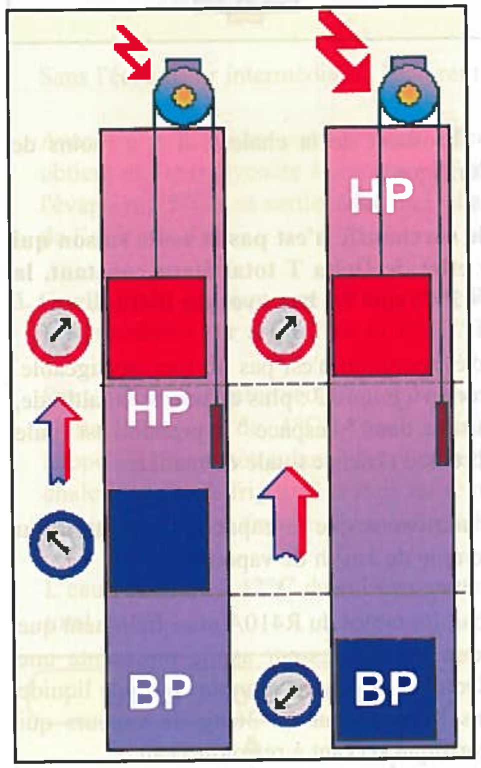
Nous ne l'avions pas expliqué : vous en connaissez maintenant les raisons.

Pompes à chaleur

Ainsi, la température de l'eau à l'entrée de l'évaporateur ayant diminué de **3°C**, la température d'évaporation a également diminué de **3°C** puisque le Delta T total est constant.

En admettant une perte de puissance d'environ 3% par degré, la puissance frigorifique diminue donc d'à peu près 9% (soyez bien conscient que ce n'est qu'un ordre de grandeur, la diminution de puissance peut être de 8% sur une machine et de 10% sur une autre, seule la doc du fabricant peut donner des valeurs exactes).





Le moteur du compresseur se comporte un peu comme celui d'un ascenseur.

En effet, la PAC doit prendre de la chaleur dans les étages inférieurs (la **BP**) et la monter dans les étages supérieurs (la **HP**).

Plus le dénivelé est important et plus l'énergie que doit fournir le moteur de l'ascenseur pour monter la cabine est importante.

Dans une machine frigorifique, c'est sensiblement la même chose. Plus l'écart entre la **BP** et la **HP** est important et plus le moteur du compresseur doit fournir de la puissance afin de comprimer les gaz aspirés, c'est-à-dire qu'il doit consommer davantage d'énergie électrique.

En résumé, en entraînant une diminution de la BP, l'échangeur intermédiaire provoque une diminution de la puissance de la PAC et une augmentation de l'énergie qu'elle consomme : le COP étant le rapport de ces 2 valeurs, il est obligatoirement moins bon !



Alexis a raison, qu'il s'agisse d'une PAC Air/Eau ou Eau/Eau, le circuit de chauffage est identique.

Cependant, la présence de l'eau implique de multiples précautions...



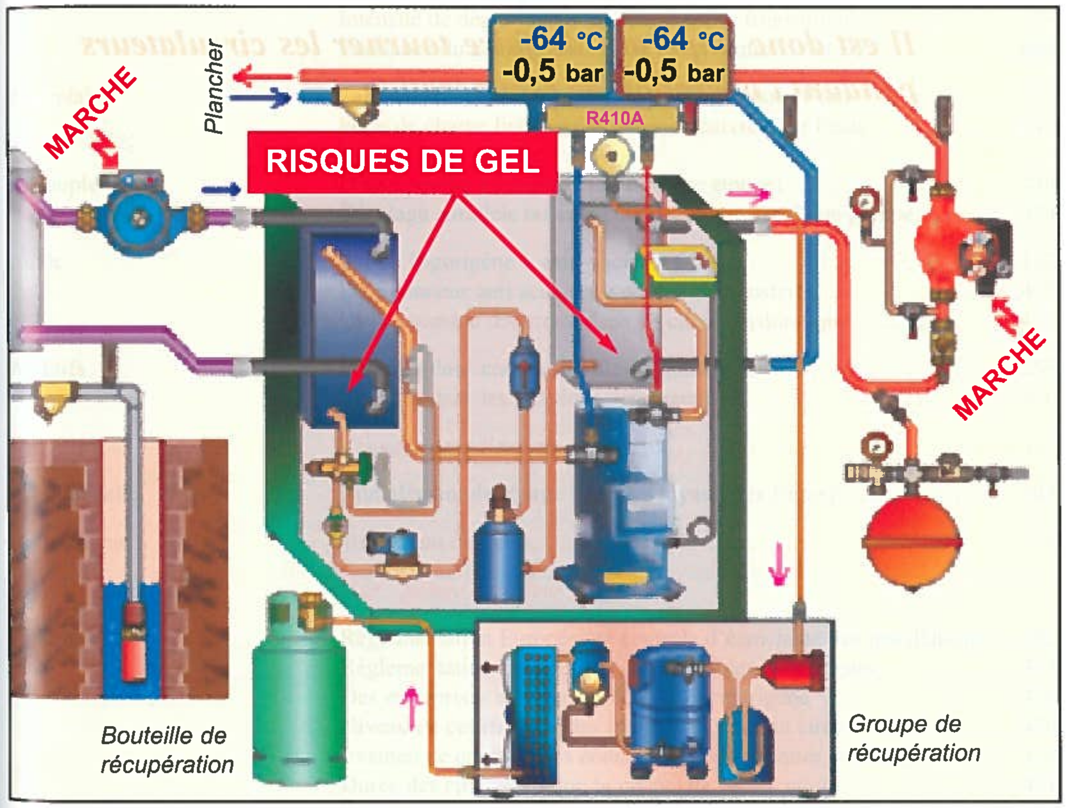
Nous savons que si l'on constate un manque de charge en fluide sur une PAC, la première chose à faire est une recherche des fuites. Si la réparation nécessite l'utilisation d'un chalumeau, il faut être très prudent surtout si l'on travaille dans un local peu ou mal aéré. Dans tous les cas, il faut obligatoirement récupérer auparavant tout le fluide de l'installation, effectuer un léger tirage au vide pour enlever le maximum de fluide puis casser le vide à l'azote.

Rappelez-vous que fluide frigorigène + flamme du chalumeau = risques de gaz très toxiques.

Rappelez-vous qu'il est obligatoire de récupérer la charge en fluide (*voir page 413*) et de ne surtout pas la dégazer à l'atmosphère (si vous possédez votre attestation d'aptitude, vous le savez !).

Contrairement à certaines idées reçues, les HFC comme le R410A ou le R407C ne sont pas des fluides " verts " et " écologiques " par rapport à l'effet de serre (*voir leur GWP page 425*). Dégazer 1 kg de R410A, c'est comme si l'on rejetait à peu près 2 tonnes de CO_2 dans l'atmosphère, ce qui équivaut au rejet de CO_2 d'une voiture parcourant environ 10 000 km !

Dans un premier temps, la récupération du fluide doit se faire autant que possible en phase liquide. S'il y a une prise de pression sur la ligne liquide, en y raccordant une bouteille de récupération froide et " tirée au vide ", le liquide s'écoulera tout naturellement de l'installation vers la bouteille.



Dans un deuxième temps, avec une machine de récupération, il faut extraire le reste de fluide, liquide et gaz, de l'installation. C'est à ce moment qu'un très gros problème risque de se produire.

Comprenez-vous dans quel cas les échangeurs risquent de prendre en glace ?

Si le circuit contient encore du liquide, ce qui est plus que probable, celui-ci devra s'évaporer pour se transformer en gaz.

Mais attention, toute transformation d'un liquide en gaz absorbe obligatoirement de la chaleur.

Lorsque le groupe de récupération sera mis en marche, la pression va diminuer dans tout le circuit. A seulement -0,5 bar le R410A s'évapore à -64°C, et même de l'eau glycolée à 30% serait congelée à une aussi basse température !

Dans le condenseur (et dans l'évaporateur d'une PAC Eau/Eau) lorsque le reste de liquide va s'évaporer, il va absorber énormément de chaleur et les risques de gel feraient éclater les échangeurs.

Pour éviter ce désastre, il faut à tout prix que l'eau circule en permanence pendant toute la durée de la récupération du fluide.

Il est donc impératif de faire tourner les circulateurs pendant l'opération de récupération.

INDEX ALPHABÉTIQUE

- A -

Abaque
- Relation pression température de l'eau pure .40
- Relation pression température du R410A .53
- Sélection de la puissance d'une PAC air/eau .558
- Sélection du diamètre des tubes en acier pour l'eau .592
- Sélection du diamètre des tubes en cuivre pour l'eau .597
- Perte de charge d'un évaporateur en fonction du débit d'eau .634

Absolue
- Pression relative et absolue .42
- Vide absolu .42
- Manomètre du frigoriste .55

Absorbée
- Puissance électrique (climatiseur) .189
- Intensité absorbée par une électrovanne .356
- Intensité absorbée par un condensateur .373
- Intensité de démarrage d'un compresseur frigorifique .379
- Puissance du compresseur selon l'écart entre HP et BP .680

Acceptable
- Perte de charge linéaire des tubes en acier pour l'eau .592
- Perte de charge linéaire des tubes en cuivre pour l'eau .542

Accouplement
- D'une pompe à garniture (ou à presse étoupe) .449
- Décalage parallèle ou angulaire des tourteaux d'une pompe .454

Acide
- Fluide frigorigène + eau = acide .123
- Déshydrateur anti acides sur groupe de transfert .415
- Utilisé comme détartrant dans un circuit hydraulique .476

Additifs
- Rajoutés dans certaines huiles frigorifiques .255
- Rajoutés dans les solutions détartrantes .476
- Rajoutés dans l'eau glycolée .495

Additionnelle
- Complément de charge (longues tuyauteries frigos) .548

Adoucisseur
- Traitement de l'eau .476

Aérothermique
- *Voir : pompe à chaleur air/eau*

Agrément
- Réglementation Européenne contrôle d'étanchéité des installations .282
- Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes .425
- Des entreprises manipulant du fluide frigorigène .426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo .426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques .428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification .431
- Réglementation selon profondeur des sondes géothermiques .644
- Réglementation pour utiliser une nappe phréatique .672

Ailettes
- D'un échangeur (importance de la surface d'échange) .93

Suite page suivante

Ailettes (suite)
D'un condenseur à air 131
Ailettes de l'évaporateur encrassées 290
Peigne à ailettes 293
Du condenseur encrassées 310

Aimant
Permanent et électro-aimant 395

Air
Condenseur à air : Fonctionnement normal 130
Evolution de la température de l'air sur un condenseur 145
Valeur de la HP en fonction de la température extérieure 147
Evolution de la température de l'air sur un évaporateur 169
Valeur de la BP en fonction de la température ambiante 170
Air saturé d'humidité 173
Air sec : influence sur le confort 186
Filtration de l'air 201
Purge par la méthode de la 'chasse' après montage d'un split 234
Purge par tirage au vide après montage d'un split 235
Température de la ligne liquide en fonction de la temp. extérieure 243
Manque de débit d'air sur l'évaporateur (climatiseur) 290
Manque de débit d'air sur le condenseur (climatiseur) 309
Recyclage d'air chaud sur le condenseur (climatiseur) 313
Prise d'air entre condenseur et ventilateur 313
Conséquences d'une purge mal faite (circuit frigo) 321
Exemple de manque de débit d'air sur l'évapo d'un split au R410A 340
Utilisation d'air comprimé (gonflage du vase d'expansion) 500
Manque de débit d'air sur batterie extérieure (PAC air/eau) 586
Panne de l'évaporateur trop petit sur une PAC air/eau - R407C 620
Voir : climatiseur réversible (air/air)
Voir : pompe à chaleur air/eau

Air neuf
Trappe d'air neuf (climatiseur monobloc) 114

Alkylbenzène
Huile frigorifique 256

Alternance
Positive et négative (courant alternatif) 382
Courant redressé simple et double alternance 385
Aspect du courant en sortie d'une platine Inverter 390

Alternatif
Courant continu et courant alternatif 382
Aspect du courant en sortie d'une platine Inverter 390

Alimentation
Brise-jet sur l'alimentation en eau d'un chauffe-eau électrique 464

Altitude
Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude 32

Ampèremétrique
Test d'une l'électrovanne à la pince ampèremétrique 356
Transfo d'intensité 406

Ambiante
Valeur de la HP en fonction de la température ambiante 147
Valeur de la BP en fonction de la température ambiante 170

Amorçage
D'une pompe de surface (hydraulique) 453

Angulaire
Décalage angulaire des tourteaux (pompe à garniture) 454

Annuel
Rapport annuel (consommation de fluides frigorigènes) 426
COP annuel d'une PAC 630

Anti
Clapet anti retour (climatiseur réversible avec 2 capillaires) 350

Suite page suivante

Anti (suite)
Bouteille anti coups de liquide 357
Anti court-cycles d'un compresseur 399
Déshydrateur anti acides sur groupe de transfert 415
Clapet anti retour dans la crépine d'une pompe de surface 451
Clapet anti retour sur une alimentation en eau de ville 462
Clapet anti retour sur un circuit solaire 508
Clapet anti retour (PAC air/eau avec 2 détendeurs) 576

Antigel
Les différents glycols du marché 495
Thermostat antigel (PAC eau/eau sur nappe phréatique) 677

Appoint
De charge en fluide frigo 421
Chauffage d'appoint sur un chauffe-eau solaire 529
Chauffage d'appoint sur PAC air/eau 546
Appoint de charge en fluide (longues tuyauteries frigos) 548

Aptitude
Attestation d'aptitude à manipuler des fluides frigorigènes 282

Arrière
Vanne de service en siège arrière (circuit frigo) 229

Aspiration
D'un compresseur 76
Clapet d'aspiration d'un compresseur 76
Tube d'aspiration d'un compresseur frigo 114
Surchauffe à l'aspiration avec le R407C 261
Clapet d'aspiration d'un compresseur cassé 327
Crépine sur l'aspiration d'une pompe 451
Hauteur maximum d'aspiration d'une pompe 458
Vase d'expansion à l'aspiration ou au refoulement de la pompe ? 519

Atmosphère
Pression atmosphérique (1 bar = 1 atmosphère) 32
Mise à l'atmosphère d'un vase d'expansion ouvert 498

Attestation
Attestation d'aptitude à manipuler des fluides frigorigènes 282
Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes 425
Contrôle de la capacité des professionnels 426
Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 426
Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
Durée des épreuves selon le niveau de certification 431

Attraction
Aimants et électro-aimants 395

Auto
Auto swing : réglage de la télécommande (climatiseur) 196
Auto diagnostic (Inverter) 400
Auto purge d'un groupe de transfert (frigo) 419
Auto purge d'un circulateur (hydraulique) 449
Purgeur automatique : fonctionnement (hydraulique) 472
Circuit solaire auto vidangeable 496

Autorisation
Pour installer des sondes géothermiques verticales 644
Pour utiliser l'eau d'une nappe phréatique 672

Auxiliaire
Enroulement (moteurs monophasés) 364
Pompe auxiliaire de remplissage d'un circuit solaire 517

Avant
Vanne de service en siège avant (circuit frigo) 228

Azote
Précharge de unité intérieure d'un split système 228
Purge par la méthode de la 'chasse' après montage d'un split 234
Purge par tirage au vide après montage d'un split 235

Suite page suivante

Azote (suite)
Conséquences d'une purge mal faite (circuit frigo) 321
Panne des incondensables (circuit frigo) 322
Utilisé dans un vase d'expansion 473
Contrôle de la pression de l'azote 500
Fonctionnement d'un vase d'expansion sous pression d'azote 501

- B -

Bac
A glaçons d'un réfrigérateur 65
De récupération des condensats d'un climatiseur 122
De raccordement des condensats d'un climatiseur 187
De récupération de l'eau glycolée (circuit solaire) 530
Chauffage du bac de récup. des condensats (PAC Air/eau) 581

Balance
Pour peser le fluide frigorigène récupéré 414

Ballon
Chauffe-eau électrique 461
D'eau chaude dans une chaudière murale 475
Chauffe-eau solaire 487
Dans une PAC air/eau 535

Bar
Pression en bar 32
Bar relatif et absolu 44
Équivalence entre bar, kPa et mCE 436

Bas
Point mort bas d'un piston de compresseur 76

Battu
Collet 'battu' sur le cuivre du plombier 213

Bavure
Ébavurage du tube cuivre 213

Bi
Déshydrateur bi-directionnel 358
Détendeur électronique 407
Détendeur thermostatique bi-flow 577

Bidon
D'huile ester (temps maximum d'ouverture du bidon) 255

Bielle
D'un compresseur à pistons 76

Bi-flow
Déshydrateur bi-directionnel 358
Détendeur thermostatique bi-flow (bi-directionnel) 577

Bilan
Thermique (évaluation) 182

Bipasse
Jeu de manomètres du frigoriste 54
Prise de pression sur les vannes de service (froid) 228
Vue interne et raccordement (manos du frigoriste) 237
Montage et démontage (manos du frigoriste) 244
Voie de bipasse d'une vanne 3 voies 474
Du frigoriste pour gonfler un vase d'expansion 513

Blocage
De la vanne 4 voies sur un climatiseur réversible 353
De la vanne 4 voies sur une PAC air/eau 590
De la vanne 4 voies sur une PAC eau/eau réversible 655

Bobinage
Des moteurs monophasés et triphasés 365

Suite page suivante

Bobinage (suite)
Test des enroulements d'un moteur 316
Fonctionnement du détendeur électronique 395
D'un circulateur à rotor noyé (hydraulique) 448

Bobine
D'une électrovanne 356
Réactance inductive pour abaisser une tension 384
D'un électro-aimant 395

Bornier
Des compresseurs monos et triphasés 365
D'un ventilo monophasé multi vitesses 378
Montage du bornier d'un circulateur (hydraulique) 448
Phase, Terre et Neutre en monophasé 466
D'une pompe mono ou triphasée 522

Bouché
Détendeur capillaire bouché (climatiseur) 156
Déshydrateur colmaté 274
Filtres à air sales (climatiseur) 290
Déshydrateur colmaté (PAC air/eau) 591
Évaporateur colmaté (PAC eau/eau) action des sécurités 639
Déshy colmaté ou détendeur trop fermé (PAC eau/eau) 666

Boue
Embouage d'un circuit hydraulique 483
Bouteille casse pression en tant que pot de décantation 562
Évaporateur colmaté (PAC eau/eau) action des sécurités 639

Bouteille
De fluide frigorigène R410A 51
Anti coups de liquide 204
Anti coups de liquide (orifice de retour d'huile) 357
De récupération du fluide frigorigène 414

Bouteille casse pression
Présentation 561
Utilisée en tant que pot de décantation 562
Raccordement (règle des 3 D) 563
Débit dans le primaire et dans le secondaire 564
Piquages d'un circuit plancher + un circuit radiateurs 568

BP
Clapet BP d'un compresseur à pistons 76
Température indiquée par le mano BP (R410A) 161
Mesure par la température d'une crosse de l'évaporateur 164
Valeur de la BP en fonction de la température ambiante 170
Paramètres du côté BP en fonctionnement normal 174
Température indiquée par le manomètre BP (R407C) 261
Température indiquée par le manomètre BP (R410A) 266
BP anormalement faible 269
Panne BP ou HP ? 269
BP faible (prédétente sur la ligne liquide d'un climatiseur) 271
BP faible (détendeur capillaire d'un climatiseur 'trop petit') 275
BP faible (manque de charge en fluide sur un climatiseur) 284
BP faible (évaporateur d'un climatiseur 'trop petit') 289
BP élevée, HP faible (compresseur climatiseur 'trop petit') 326
Principales familles de pannes frigorifiques 332
Exemple de panne du manque de charge sur un split au R410A 334
Exemple de panne de la prédétente sur un split au R407C 338
Exemple de manque de débit d'air sur l'évapo d'un split au R410A 340
Exemple de panne du manque de charge sur un split au R407C 342
Exemple de panne du compresseur trop petit sur un split au R410A 346

Suite page suivante

BP (suite)
- BP en été et en hiver sur un climatiseur réversible 351
- Contrôle de la BP par une platine Inverter 398
- Givrage de l'unité extérieure d'un climatiseur réversible 409
- Exemple de fonctionnement normal (PAC air/eau - R410A) 566
- Température d'apparition du givre 575
- Givrage de l'unité extérieure d'une PAC air/eau 576
- BP faible (manque de charge, PAC air/eau - R410A) 584
- BP faible (manque de débit d'air, PAC air/eau - R410A) 586
- BP élevée, HP faible (compresseur PAC air/eau 'trop petit') 590
- BP faible (détendeur trop fermé, PAC air/eau - R410A) 591
- BP faible (prédétente ligne liquide, PAC air/eau - R410A) 591
- Valeurs normales de fonctionnement (Pac Eau/eau - R407C) 603
- Panne du manque de charge sur une PAC air/eau - R407C 606
- Panne du détendeur trop petit sur une PAC air/eau - R407C 608
- Panne du compresseur trop petit sur une PAC air/eau - R407C 614
- Panne de l'évaporateur trop petit sur une PAC air/eau - R407C 620
- Panne de la prédétente sur une PAC air/eau - R407C 626
- BP faible (manque de charge, PAC eau/eau - R407C) 650
- BP élevée, HP faible (compresseur PAC eau/eau 'trop petit') 654
- BP faible (manque de débit d'eau, PAC eau/eau - R407C) 656
- Installation en fonctionnement normal (PAC eau/eau - R407C) 662
- BP faible (détendeur trop fermé, PAC eau/eau - R407C) 666
- BP faible (prédétente ligne liquide, PAC eau/eau - R407C) 666
- Influence de la BP sur le COP d'une PAC 678
- Puissance du compresseur selon l'écart entre HP et BP 680

Branchement
- Électrique d'un climatiseur split système 194
- Raccordement frigorifique entre les unités d'un split 209
- Bornier des compresseurs monophasé et triphasé 365
- Câblage complet d'un climatiseur window 379
- D'un chauffe-eau électrique 461
- Phase, Terre et Neutre en monophasé 466
- Différents montages de radiateurs 478
- D'une pompe mono ou triphasée 522

Brasé
- Échangeur à plaques, vue interne et raccordement (PAC air/eau) 561

Brise-jet
- Sur l'alimentation en eau d'un chauffe-eau électrique 464

Bruit
- Des climatiseurs monoblocs 116
- Dans des canalisations hydrauliques 442

Brûleur
- A gaz d'une chaudière murale 471

Brûlure
- Par le fluide frigorigène liquide 61
- Par de l'eau sanitaire trop chaude 528

Buée
- D'où vient-elle ? 68

Bulbe
- Sec et humide (humidité de l'air) 178
- D'un détendeur thermostatique 573
- Emplacement du bulbe d'un détendeur bi-flow 578

Bulle
- Température de bulle des fluides à fort glissement 260

Buse
- D'un détendeur électronique 396

Butane
- Bouteille de butane 51

Butyl
- Membrane des vases d'expansion sous pression d'azote 513

By-pass
- *Voir : bipasse*

- C -

Câblage
- Raccordement électrique des 2 unités d'un split système 194
- Bornier des compresseurs monophasé et triphasé 365
- Câblage complet d'un climatiseur window 379
- Câblage d'un chauffe-eau électrique 461
- Phase, Terre et Neutre en monophasé 466
- D'une pompe mono ou triphasée 522

Câble
- Liaisons électriques entre les unités 194

Calcaire
- Entartrage et détartrage d'une chaudière murale 476

Calcul
- Évaluation de la puissance d'un petit climatiseur 182
- Choix de la surface de panneaux solaires à installer 531
- Relation entre débit d'eau, puissance et Delta T sur l'eau 549
- Évaluation des déperditions d'une villa 556
- De la puissance d'une chaudière selon les déperditions 556
- Des Pertes de charge d'un circuit plancher chauffant 595
- Surface des capteurs enterrés horizontaux (PAC eau/eau) 630
- Nombre de sondes géothermiques (PAC eau/eau) 643
- Puissance d'un échangeur intermédiaire (PAC eau/eau) 678

Calorifique
- Puissance de chauffe d'un climatiseur 188
- Puissance calorifique en fonction du Delta T sur l'eau (solaire) 524
- Puissance de chauffe d'une PAC air/eau 558
- Inertie calorifique (radiateur et plancher chauffant) 569
- *Voir : climatiseur réversible*

Calorifuge
- Des tuyauteries (circuit frigo) 222
- Tubes frigorifiques pré-isolés 223
- Type à utiliser sur les canalisations extérieures 532

Capacité
- Réglementation Européenne contrôle d'étanchéité des installations 282
- D'un détendeur capillaire (problème en été et en hiver) 351
- Mesure de la capacité d'un condensateur 373
- Capacité d'un groupe de transfert (circuit frigo) 419
- Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes 425
- Contrôle de la capacité des professionnels 426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification 431
- *Voir : condensateur*

Capillaire
- De commande d'une vanne 4 voies d'inversion de cycle 353
- *Voir : détendeur capillaire*

Capteurs
- Horizontaux enterrés (PAC eau/eau) 629
- Verticaux (sondes géothermiques, PAC eau/eau) 644
- *Voir : solaire*

Cartouche
D'un déshydrateur anti acides sur groupe de transfert 415

Casse
Clapet d'aspiration de compresseur cassé 327
Bouteille casse pression (présentation) 561

Casse-pression
Voir : bouteille casse-pression

Celsius
Échelle des degrés Celsius 14

Centigrade
Voir : Celsius

Centrifuge
Ventilateur hélicoïde, tangentiel et centrifuge 200
Pompe centrifuge (différents types) 447

CFC
Anciens fluides frigorigènes 254
Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes 425
Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène 426
Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
Durée des épreuves selon le niveau de certification 431

Certification
Réglementation Européenne contrôle d'étanchéité des installations 282
Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes 425
Contrôle de la capacité des professionnels 426
Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 426
Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
Durée des épreuves selon le niveau de certification 431

CESI
Chauffe-Eau olaire Individuel 487

Chaleur
Qu'est-ce que la chaleur ? 13
Transfert de chaleur 15
Latente de vaporisation 23
Latente de fusion 26
Chaleur sensible 27
Latente de condensation 71
Bilan thermique (évaluation) 182
Variation des déperditions de chaleur selon la temp. extérieure 558
Pompe à chaleur :*Voir climatiseur réversible*
Voir pompe à chaleur air/eau
Voir pompe à chaleur eau/eau

Changement
D'état physique 27
Quantités d'énergies mises en jeu (changements d'état de l'eau) 28

Charge
Précharge à la livraison des unités d'un climatiseur split 209
Charge en fluide avec du R407C et avec R410A 268
Panne du manque de charge en fluide (climatiseur) 284
Exemple de panne du manque de charge sur un window 298
Panne de l'excès de charge en fluide (climatiseur) 316
Exemple de panne du manque de charge sur un split au R410A 334
Exemple de panne du manque de charge sur un split au R407C 342
Exemple de panne de l'excès de charge sur un split au R407C 344
Comment faire un appoint de charge en fluide frigo ? 421
Pression statique (hydraulique) 437
Perte de charge (hydraulique) 440
Complément de charge en fluide (longues tuyauteries frigos) 548
Panne du manque de charge (PAC air/eau - R410A) 584
Panne de l'excès de charge (PAC air/eau - R410A) 585

Suite page suivante

Charge (suite)
Panne du manque de charge (PAC eau/eau - R407C) 650
Panne de l'excès de charge ou des incond. (PAC eau/eau - R407C) 660
Installation en fonctionnement normal (PAC eau/eau - R407C) 662
Voir : perte de charge

Chasse
Purge air et azote par une chasse (climatiseur split) 234
Purge air et azote par tirage au vide (climatiseur split) 235

Châssis
Montage d'une unité extérieure 227
Montage de panneaux solaires 532

Château d'eau
Circuit de remplissage 447

Chatière
Traversée d'un toit par des tuyauteries 532

Chaud
La ligne liquide traverse un endroit très chaud (prédétente) 274
Recyclage d'air chaud sur le condenseur (climatiseur) 313
Puissance de chauffe = Puissance frigo + Puissance compresseur 635

Chaudière
Murale gaz (description) 471
Thermostat limite haute température (chaudière murale) 482
En appoint d'un chauffe-eau solaire 529
En appoint d'une PAC air/eau 488
Évaluation des déperditions d'une villa 556
Calcul d la puissance d'une chaudière selon les déperditions 556

Chauffage
Radiateur de chauffage central 15
Puissance de chauffe d'un climatiseur 188
COP (Coefficient Optimal de Performance) 189
Par résistances électriques (climatiseur) 198
Chaudière murale gaz (description) 471
Par thermosiphon (sans pompe) 502
D'appoint dans un chauffe-eau solaire 529
Par plancher chauffant 536
Chauffage d'appoint sur PAC air/eau 546
Sélection de la puissance d'une PAC air/eau 558
Régulation par une vanne 3 voies (courbe de chauffe) 516
Par PAC air/eau (avec 2 détendeurs thermostatiques) 575
Par PAC air/eau (avec 1 détendeur bi-flow) 578
Du bac de condensats d'une PAC air/eau 581
COP annuel d'une PAC 630
Puissance de chauffe = Puissance frigo + Puissance compresseur 635
COP annuel d'une PAC sur nappe phréatique 672
Voir : climatiseur réversible
Voir pompe à chaleur air/eau
Voir pompe à chaleur eau/eau

Chauffe-eau électrique
Fonctionnement 461
Brise-jet sur l'alimentation en eau d'un chauffe-eau électrique 464
Les thermostats sur un chauffe-eau électrique 465
Divers dépannage 468

Chauffe-eau solaire
Voir : solaire

Cheminée
d'une électrovanne 354

Choc
Thermique 405
Pour débloquer une vanne 4 voies d'inversion de cycle 353

Choix
- Du volume du vase d'expansion (circuit solaire) 499
- Emplacement de la pompe (circuit solaire) 505
- Emplacement du clapet anti retour (circuit solaire) 507
- Emplacement des vannes d'isolement (circuit solaire) 509
- De la pression de gonflage du Vase d'expansion (solaire) 512
- Pression de remplissage en eau glycolée (solaire) 514
- Chauffage d'appoint dans le ballon solaire 529
- Choix de la surface de panneaux solaires à installer 531
- Du type de mano à utiliser (hydraulique) 551
- Sélection de la puissance d'une PAC air/eau 558
- Sélection du diamètre des tubes en acier pour l'eau 592
- Sélection du diamètre des tubes en cuivre pour l'eau 597
- Des tubes à enterrer (capteurs horizontaux, PAC eau/eau) 630
- Des sondes géothermiques (capteurs verticaux, PAC eau/eau) 643

Chute
- De pression dans un détendeur capillaire 89

Circuit frigorifique
- Différents paramètres en fonctionnement normal 174
- Purge d'un circuit frigorifique après montage d'un split 233
- Réglementation Européenne contrôle d'étanchéité des installations . . . 282
- Principales familles de pannes frigorifiques 332
- Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes 425
- Interdiction des fluides à fort GWP 425
- Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène 426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification 431
- *Voir : climatiseur réversible*
- *Voir pompe à chaleur air/eau*
- *Voir pompe à chaleur eau/eau*

Circuit hydraulique
- Circuit de type fermé ou ouvert 448
- D'une chaudière murale gaz 474
- Delta T normal sur l'eau (circuit radiateurs) 480
- Remplissage en eau d'un circuit solaire 491
- *Voir : Plancher chauffant*
- *Voir bouteille casse-pression*
- *Voir : Pompe à chaleur air/eau*
- *Voir : Pompe à chaleur eau/eau*

Circuit solaire
- *Voir : solaire*

Circulateur
- Montage sur un circuit hydraulique 448
- Différence entre circulateur et pompe 504
- Câblage en mono ou en triphasée 522
- A vitesse variable 529
- En panne (grippé) 527
- Relation entre débit d'eau, puissance et Delta T sur l'eau 549
- Courbe débit/pression d'une pompe 552
- Panne du manque de débit d'eau sur une PAC air/eau 588
- Différence entre courbe plate et courbe plongeante 637
- *Voir : pompe*

Circulation
- De l'huile dans un circuit frigo 399

Clapet
- D'aspiration (BP) et de refoulement (HP) d'un compresseur à pistons . . 76

Suite page suivante

Clapet (suite)
- Plaque à clapets d'un compresseur à pistons 77
- Fréquence d'ouverture / fermeture (compresseur à pistons) 79
- De refoulement d'un compresseur rotatif 204
- D'aspiration de compresseur cassé 327
- De retenue (climatiseur réversible avec 2 capillaires) 350
- De retenue dans un déshydrateur bi-directionnel 358
- Réglage de l'ouverture d'un détendeur électronique 396
- De retenue d'une crépine sur l'aspiration d'une pompe 451
- Sur l'alimentation en eau d'un chauffe-eau électrique 462
- Disconnecteur sur réseau d'alimentation en eau de ville 471
- Clapet anti retour sur un circuit solaire 509
- Clapet anti retour (PAC air/eau avec 2 détendeurs) 576

Clarinette
- Collecteur aller et retour sur un circuit hydraulique 478
- Réglage et mesure du débit sur une clarinette 479

Climatisation
- Différence avec conditionnement d'air 104
- En utilisant un réfrigérateur 106
- Réglementation Européenne contrôle d'étanchéité des installations . . 282
- Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes 425
- Interdiction des fluides à fort GWP 425
- Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène 426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification 431
- Avec un plancher rafraîchissant 640

Climatiseur Inverter
- Principe de fonctionnement 'froid seul' 389
- Aspect du courant en sortie d'une platine Inverter 390
- Compresseur de type 'Scroll' 391
- Tension et fréquence en sortie de la platine Inverter 393
- Fonctionnement du détendeur électronique 395
- Rôle des sondes de température de l'unité intérieure 398
- Problème du démarrage du compresseur 399
- Schéma frigorifique complet 403
- Fonctionnement détaillé 404
- Interdiction des fluides à fort GWP 425
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification 431
- *Voir : climatiseur Split système*
- *Voir : climatiseur Inverter réversible*

Climatiseur Inverter réversible
- Circuit frigorifique 407
- Rôle des différentes sondes 408
- Interdiction des fluides à fort GWP 425
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification 431
- *Voir : climatiseur Inverter*
- *Voir : climatiseur réversible*
- *Voir pompe à chaleur air/eau*
- *Voir pompe à chaleur eau/eau*

Climatiseur monobloc
- Du réfrigérateur au climatiseur 104
- Climatiseur 'window' 109

Suite page suivante

Climatiseur monobloc (suite)
- Thermostat du climatiseur monobloc window .113
- Cycle frigorifique d'un climatiseur monobloc window .115
- Problème du niveau sonore .116
- Principales familles de pannes frigorifiques .332
- Câblage détaillé et complet d'un window .380
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo .426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques .428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification .431

Climatiseur réversible
- COP (Coefficient Optimal de Performance) .189
- Vanne 4 voies d'inversion de cycle .347
- Fonctionnement en été .348
- Fonctionnement en hiver .349
- Détendeur capillaire 'été' et 'hiver' .350
- Dépannage de la vanne 4 voies d'inversion de cycle .353
- Givrage et dégivrage en hiver .409
- Problème de l'eau de dégivrage .410
- Interdiction des fluides à fort GWP .425
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo .426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques .428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification .431
- Température d'apparition du givre .575
- *Voir : climatiseur Inverter réversible*
- *Voir pompe à chaleur air/eau*
- *Voir pompe à chaleur eau/eau*

Climatiseur Split système
- Généralités .121
- Cycle frigorifique .125
- Résumé des différents paramètres en fonction. normal .174
- Raccordement électrique .196
- Purge du circuit frigorifique après montage du split .233
- Principales familles de pannes frigorifiques .332
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R410A .334
- Exemple de panne du condenseur encrassé sur un split au R410A .336
- Exemple de panne de la prédétente sur un split au R407C .338
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R407C .342
- Exemple de panne de l'excès de charge sur un split au R407C .344
- Exemple de panne du compresseur trop petit sur un split au R410A .346
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo .426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques .428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification .431
- *Voir : climatiseur Inverter*

Cloche
- Compresseur hermétique .204

Cocotte minute
- Fonctionnement .38
- Eau surchauffée .493

Coefficient
- Puissance à installer par m² de surface à climatiser .182
- Intensité absorbée par un condensateur par µF (MFD) .373
- Choix de la surface de panneaux solaires à installer .531
- Evaluation des déperditions d'une villa .556
- calcul de la puissance d'une chaudière selon les déperditions .556
- Pertes de charge des accessoires hydrauliques .593
- Puissance des capteurs enterrés horizontaux (PAC eau/eau) .630
- Puissance des sondes géothermiques (PAC eau/eau) .643
- *Voir : COP*

Collecteur
- De départ et retour d'eau (Clarinette) .478
- Réglage du débit sur les collecteurs de chauffage .479

Colmaté
- Déshydrateur colmaté (climatiseur) .274
- Filtres à air colmatés (climatiseur) .290
- Déshydrateur colmaté (PAC air/eau - R410A) .591
- Evaporateur colmaté (PAC eau/eau) action des sécurités .639
- Evaporateur colmaté (PAC eau/eau - R407C) .656
- Déshy colmaté (PAC eau/eau - R407C) .666

Colonne
- Mètre de Colonne d'Eau (mCE) .436

Commande
- A distance d'un climatiseur .195
- Capillaire de commande de la vanne 4 voies d'inversion de cycle .353

Commune
- Voie commune d'une vanne 3 voies (hydraulique) .571

Communicant
- Vases communicants (principe) .435

Commutateur
- De sélection de vitesse du ventilateur .379

Compatibilité
- Des huiles frigorifiques avec les fluides HFC .255

Complément
- De charge en fluide (longues tuyauteries frigos) .548

Compresseur
- Rôle .73
- Description du compresseur à pistons .76
- Fréquence d'ouverture / fermeture des clapets .79
- A pistons : fonctionnement normal .128
- Rotatif .204
- Différences entre compresseur à pistons et rotatif .205
- Problème des retours d'huile .220
- Problème du mélange d'huile .256
- Panne du compresseur trop petit (climatiseur) .326
- Clapet d'aspiration de compresseur cassé .327
- Palette mobile non étanche (compresseur rotatif) .327
- Exemple de panne du compresseur trop petit sur un split au R410A .346
- Bornier des compresseurs monophasé et triphasé .365
- Test électrique du moteur .366
- Variation de vitesse en fonction de la fréquence .390
- Scroll (spiro-orbital) .391
- A courant continu .393
- Problèmes liés au démarrage .399
- A pistons 'secs' .415
- Panne du compresseur trop petit (PAC air/eau - R410A) .590
- Puissance de chauffe = Puissance frigo + Puissance compresseur .635
- Panne du compresseur trop petit (PAC eau/eau - R407C) .654

Compression
- D'un gaz .74
- Influence sur la température .74
- Puissance du compresseur selon l'écart entre HP et BP .680

Condensateur
- De 'marche' et de 'démarrage' .368
- Test des condensateurs .370
- Les pannes de condensateurs .372
- Condensateur chimique utilisé en courant continu .387
- *Voir : moteur monophasé*

Condensats
- Bac de récupération des condensats 122
- Importance du raccordement 124
- Influence sur la puissance frigorifique utile 185
- Précautions de raccordement 187
- Après le dégivrage d'un climatiseur réversible 410
- Température d'apparition du givre 575
- Dégivrage du bac à condensats (PAC air/eau) 581

Condensation
- Analyse du phénomène 68
- Chaleur latente 71
- Groupe de condensation à air 119
- Palier de condensation 142
- Valeur de la HP en fonction de la température extérieure 147
- Glissement de température avec le R407C 263
- Glissement de température nul avec le R410A 266

Condenseur à air
- Du réfrigérateur 73
- Quelle est la puissance rejetée au condenseur ? 106
- Fonctionnement normal 130
- Sens de passage du fluide et de l'air 131
- Vapeurs surchauffées dans le condenseur 134
- Evolution du fluide frigorigène dans le condenseur 138
- Sous refroidissement du liquide à la sortie du condenseur 140
- Mesure de la HP par la température d'une crosse 141
- Evolution de la température de l'air sur le condenseur 145
- Différents delta T sur un condenseur (climatiseur) 146
- Valeur de la HP en fonction de la temp. extérieure 147
- Température de la ligne liquide en fonction de la temp. extérieure 243
- Sous refroidissement trop élevé (climatiseur) 251
- Sous refroidissement trop faible (climatiseur) 252
- Sous refroidissement avec le R407C 263
- Sous refroidissement avec le R410A 267
- HP faible : régulateur de vitesse du ventilo-condenseur 280
- Panne du condenseur trop petit (climatiseur) 308
- Manque de débit d'air sur le condenseur (climatiseur) 309
- Condenseur encrassé (climatiseur) 310
- Ventilo-condenseur tourne à l'envers 312
- Recyclage d'air chaud sur le condenseur (climatiseur) 313
- Prise d'air entre condenseur et ventilateur 313
- L'hélice du ventilo-condenseur est mal positionnée 314
- Principales familles de pannes frigorifiques 332
- Exemple de panne du condenseur encrassé sur un split au R410A 336
- Schéma simplifié d'un régulateur de vitesse de ventilo-condenseur 383
- Rôle des différentes sondes de température (Inverter) 404
- Régulation du ventilo-condenseur par la platine Inverter 405
- Sous refroidissement normal (PAC air/eau - R410A) 567
- Panne du condenseur sale sur une PAC air/eau - R407C 612

Condenseur à eau
- Pour un climatiseur 201
- A serpentin (PAC air/eau) 535
- Delta T total (PAC air/eau) 538
- Échangeur à plaques utilisé comme condenseur (PAC air/eau) 560
- Vue interne de l'évapo et du condenseur (échangeurs à plaques) 632

Condition
- Normales de fonctionnement (climatiseur) 241

Suite page suivante

Condition (suite)
- De fonctionnement (PAC air/eau, données constructeur) 557
- Exemple de fonctionnement normal (PAC air/eau - R410A) 566
- Exemple de fonctionnement normal (PAC eau/eau - R407C) 662

Conditionnement d'air
- Différence avec climatisation 104
- Réglementation Européenne contrôle d'étanchéité des installations 282
- Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes 425
- Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène 426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification 431

Confort
- Température sèche et humide 178
- Influence de l'humidité de l'air 186
- Choc thermique 405

Conique
- Confection d'un dudgeon sur du tube cuivre frigo 214

Connaissance
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification 431

Console
- Unité intérieure de type console 192

Consommation
- Rapport annuel (consommation de fluides frigorigènes) 426

Continu
- Courant continu et courant alternatif 382
- Transformation du courant alternatif en courant continu 385
- Condensateurs utilisés en courant continu 387
- Aspect du courant en sortie d'une platine Inverter 390
- Variation de la tension continue pour faire varier la vitesse 393

Contre courant
- Échange à contre courant dans un condenseur (climatiseur) 131
- Échange à contre courant dans un évaporateur (climatiseur) 160
- Échange à contre courant dans un ballon solaire 488
- Échange à contre courant sur une PAC eau/eau 632

Contre-pente
- Dans un circuit solaire 516

Contrôle
- Des conditions normales de fonctionnement (climatiseur) 241
- Réglementation Européenne contrôle d'étanchéité des installations 282
- De la capacité des professionnels 426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification 431
- De la pression de gonflage d'un vase d'expansion 500
- De fonctionnement (PAC air/eau, données constructeur) 557
- Du fonctionnement normal (PAC air/eau - R410A) 566
- Du fonctionnement normal (PAC eau/eau - R407C) 662
- *Voir : test*

Contrôleur
- De fuite de fluide frigorigène (réglementation Européenne) 282
- De débit (flow switch), fonctionnement 484
- De débit (flow switch) sur un circuit plancher 513
- De débit, pannes provoquées par un mauvais montage 637
- De débit, utilisation d'un pressostat différentiel 638

Cool
- Réglage télécommande en mode 'froid' 197

COP
- Coefficient Optimal de Performance 189

Suite page suivante

COP *(suite)*
- Sur une PAC air/eau .548
- Variation en fonction de la temp. extérieure (PAC air/eau) .558
- Influence de la surchauffe à l'aspiration du compresseur .573
  - Avec un détendeur thermostatique bi-flow .579
- Différence entre COP et COP annuel .630
- COP d'une PAC sur nappe phréatique .672
- Influence de la température d'entrée d'eau (PAC eau/eau) .678
- Influence de l'écart entre HP et BP .680

Corrosion
- Inhibiteur de corrosion dans solution détartrante .476

Coup
- Bouteille anti coups de liquide .204
- Coup de liquide sur un compresseur .250
- Bouteille anti coups de liquide (comment ramener l'huile) .357
- De liquide : problème de la charge en fluide .421
- Risques de coups de liquide sur une PAC eau/eau - R407C .656

Coupe
- Coupe tube .213

Coupé
- Enroulement moteur coupé .366
- Condensateur coupé .372
- Sonde de température coupée (Inverter) .406

Couple
- Moteur et couple résistant .377

Courant
- Courant continu et courant alternatif .382
- Hachage de phase .383
- Redressé simple et double alternance .385
- Aspect du courant en sortie d'une platine Inverter .390
- Variation de la tension continue pour faire varier la vitesse .393
- *Voir : échange à contre courant*

Courbe
- Relation pression température de l'eau pure .40
- Relation pression température du R410A .53
- Courbe débit/pression d'une pompe .552
- Sélection de la puissance d'une PAC air/eau .558
- Puissance d'une PAC air/eau en fonction de la temp. ext. .559
- De chauffe (temp. départ eau en fonction de temp. ext.) .572
- Sélection du diamètre des tubes en acier pour l'eau .592
- Sélection du diamètre des tubes en cuivre pour l'eau .597
- Perte de charge d'un évaporateur en fonction du débit d'eau .634
- Différence entre courbe plate et courbe plongeante d'une pompe .637

Court-circuit
- Enroulements du moteur en court-circuit .366
- Condensateur en court-circuit .372
- Sonde de température en court-circuit (Inverter) .406

Court cycles
- D'un compresseur .399
- D'une chaudière murale .475
- D'une PAC air/eau surdimensionnée .560

Cps
- Fréquence du courant en cycle par seconde (Hertz) .548

Crépine
- Sur l'aspiration d'une pompe .451
- Sur pompe immergée dans une nappe phréatique .677

Crosse
- Sur un condenseur à air .131
- Mesure de la HP sur une crosse du condenseur .141
- Mesure de la BP sur une crosse de l'évaporateur .165

CSR
- Démarrage des moteurs monophasés .375
- Phase, Terre et Neutre en monophasé .466

CTN et CTP
- Sondes de température .400
- *Voir : sonde*

Cycle
- Frigorifique (généralités) .93
- Représentation schématique .98
- Cycle frigorifique : résumé du fonctionnement .100
- Cycle frigorifique d'un climatiseur monobloc window .115
- Cycle frigorifique d'un Split système 'froid seul' .125
- La vanne 4 voies d'inversion de cycle .347
- Cycle frigorifique d'un climatiseur réversible .348
- Courts cycles d'un compresseur .399
- Cycle frigorifique d'un climatiseur Inverter .403
- Cycle frigorifique d'un climatiseur Inverter réversible .407
- Courts cycles d'une chaudière murale .475
- Cycle frigorifique PAC air/eau (détendeur électronique) .544
- Cycle frigo PAC air/eau en dégivrage (détendeur électronique) .545
- Courts-cycles d'une PAC air/eau surdimensionnée .560
- Cycle frigorifique PAC air/eau (2 détendeurs) .575
- Cycle frigorifique PAC air/eau (détendeur bi-flow) .577
- Cycle frigorifique PAC eau/eau (2 détendeurs thermostatiques) .642

Cylindre
- D'un compresseur à pistons .76

- D -

Dalton
- Loi de dalton : application aux incondensables .320

Dba
- Niveau sonore des climatiseurs .199

Débit
- Paramètres faisant varier le débit dans un détendeur capillaire .153
- Manque de débit d'air sur l'évaporateur (climatiseur) .290
- Manque de débit d'air sur le condenseur (climatiseur) .309
- Exemple de manque de débit d'air sur l'évapo d'un split au R410A .340
- Débit de fluide et puissance frigorifique (Inverter) .390
- Variation en fonction de la pression statique (hydraulique) .437
- Puissance absorbée par une pompe en fonction du débit .450
- Mesure du débit sur une clarinette (débitmètre) .479
- Contrôleur de débit (flow-switch) sur un circuit hydraulique .484
- Variation du Delta T en fonction du débit d'eau .523
- Relation entre débit d'eau, puissance et Delta T sur l'eau .549
- Courbe débit/pression d'une pompe .552
- Primaire et secondaire sur une bouteille casse pression .564
- Manque de débit d'air sur batterie extérieure (PAC air/eau) .586
- Panne du manque de débit d'eau sur une PAC air/eau .588
- Panne de l'évaporateur trop petit sur une PAC air/eau - R407C .620
- Panne du manque de débit d'eau sur une PAC air/eau - R407C .624
- Méthodes de mesure du débit d'eau (évapo, PAC eau/eau) .633
- Variation selon la courbe (plate ou plongeante) de la pompe .637
- Pannes des contrôleurs de débit à palette .637
- Influence du débit sur la perte de charge d'un échangeur .638

Déblocage
- D'une vanne 4 voies d'inversion de cycle ... 353

Décalage
- Parallèle ou angulaire des tourteaux d'une pompe ... 454

Décantation
- Des boues dans un bouteille casse pression ... 562

Décibel
- Niveau sonore ... 199

Dégazage
- A l'atmosphère de fluide frigo rigoureusement interdit ... 283

Degré
- Échelle des degrés Celsius ... 14

Dégivrage
- Des climatiseurs réversibles en hiver ... 409
- Problème de l'eau de dégivrage (climatiseur réversible) ... 410
- PAC air/eau en mode dégivrage (détendeur électronique) ... 545
- Température d'apparition du givre ... 575
- Arrêt du ventilateur pendant un dégivrage (PAC air/eau) ... 576
- PAC air/eau en mode dégivrage (2 détendeurs) ... 576
- PAC air/eau en mode dégivrage (détendeur bi-flow) ... 580
- Problème de la durée du dégivrage (PAC air/eau) ... 580
- Horloge et sonde de dégivrage (PAC air/eau) ... 581
- Chauffage du bac de condensats (PAC air/eau) ... 581
- *Givrage en été : voir BP (tous les cas où la BP est faible)*

Dégrippage
- D'une pompe grippée (rotor bloqué) ... 527

Delta
- Différents delta T sur un condenseur (climatiseur) ... 146
- Delta T sur un détendeur capillaire ... 158
- Différents delta T sur l'évaporateur (climatiseur) ... 169
- Différents delta T en fonctionnement normal (climatiseur) ... 174
- Delta T anormal sur la ligne liquide ... 271
- Delta T anormal au déshydrateur ... 274
- Delta T anormal sur l'air à l'évaporateur (climatiseur) ... 290
- Exemple de panne de la prédétente sur un split au R407C ... 338
- Delta T normal sur l'eau (radiateurs) ... 480
- Delta P sur une pompe (HMT de la pompe) ... 518
- Variation du Delta T en fonction du débit d'eau ... 523
- Delta T total sur un condenseur à eau (PAC air/eau) ... 538
- Delta T sur l'eau (plancher chauffant) ... 538
- Relation entre débit d'eau, puissance et Delta T sur l'eau ... 549
- Delta T total sur l'évaporateur (PAC air/eau) ... 557
- Delta T normaux (PAC air/eau, détendeur électronique) ... 566
- Delta T normaux (PAC air/eau, détendeur bi-flow) ... 582
- Delta T normaux (PAC eau/eau, capteurs sol horizontaux) ... 633
- Delta T normaux (PAC eau/eau, capteurs sol verticaux) ... 646
- Delta T normaux (PAC eau/eau sur nappe phréatique) ... 673
- Puissance du compresseur selon l'écart entre HP et BP ... 680

Démarrage
- Enroulement de démarrage (moteurs monophasés) ... 354
- Techniques de démarrage des moteurs monophasés ... 374
- Relais de démarrage (moteurs monophasés) ... 374
- Démarrage PSC (moteurs monophasés) ... 374
- Démarrage CSR (moteurs monophasés) ... 375
- Du compresseur (Inverter) ... 398
- Problèmes liés au démarrage du compresseur ... 399

Démontage
- Des manomètres sur un circuit frigo ... 244

Dénivelé
- Entre unité intérieure et extérieure ... 209
- Trop important entre les 2 unités (prédétente) ... 273
- Pour déterminer la Pression de gonflage (vase d'expansion) ... 512

Densité
- De l'eau en fonction de la température ... 463

Dépannage
- Importance de la surchauffe ... 249
- Importance du sous refroidissement ... 251
- Panne BP ou HP ... 269
- Panne de la prédétente, analyse complète (climatiseur) ... 270
- Exemples de prédétente ... 273
- Détendeur trop petit : analyse complète (climatiseur) ... 275
- Panne du détendeur trop petit : exemples ... 278
- Réglementation Européenne contrôle d'étanchéité des installations ... 282
- Manque de charge en fluide, analyse complète (climatiseur) ... 284
- Panne du manque de charge : recherche des fuites ... 286
- Évaporateur trop petit : analyse complète (climatiseur) ... 289
- Panne de l'évaporateur trop petit : exemples ... 292
- Exemple de panne du manque de charge sur un window ... 298
- Exemple de prédétente sur un window ... 299
- Exemple d'évaporateur trop petit (filtre sale) sur un window ... 302
- Exemple de détendeur trop petit sur un window ... 303
- Exemple d'évaporateur trop petit (évapo encrassé) sur un window ... 306
- Condenseur trop petit : analyse complète (climatiseur) ... 308
- Panne du condenseur trop petit : exemples ... 310
- Excès de charge : analyse complète (climatiseur) ... 316
- Incondensables : analyse complète (climatiseur) ... 322
- Compresseur trop petit : analyse complète (climatiseur) ... 328
- Principales familles de pannes frigorifiques ... 332
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R410A ... 334
- Exemple de panne du condenseur sale sur un split au R410A ... 336
- Exemple de panne de prédétente sur un split au R407C ... 338
- Exemple de l'évaporateur trop petit sur un split au R410A ... 340
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R407C ... 342
- Exemple de panne d'un excès de charge sur un split au R407C ... 344
- Exemple de panne du compresseur trop petit sur un split au R410A ... 346
- Pannes de la vanne 4 voies d'inversion de cycle ... 353
- Des moteurs monophasés ... 366
- Des condensateurs ... 372
- Comment faire un appoint de charge en fluide frigo ? ... 421
- Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes ... 425
- Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène ... 426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo ... 426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques ... 428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification ... 431
- D'un lavabo : l'eau ne coule plus ... 445
- Problème d'amorçage d'une pompe ... 453
- D'un chauffe-eau électrique ... 467
- D'une chaudière murale ... 476
- D'un radiateur qui ne chauffe pas ... 482
- Vase d'expansion trop gonflé (circuit solaire) ... 510
- Vase d'expansion pas assez gonflé (circuit solaire) ... 511
- Pompe tourne à l'envers (circuit solaire) ... 522
- Pompe grippée ... 527
- Circulateur en panne (circuit solaire) ... 526

Suite page suivante

Dépannage (suite)
- Courts-cycles d'une PAC air/eau surdimensionnée 560
- Bouteille casse pression (problème de débit) 564
- Température d'apparition du givre 575
- Ventilo extérieur bloqué par le givre (PAC air/eau) 581
- Panne du manque de charge (PAC air/eau - R410A) 584
- Excès de charge ou incondensables (PAC air/eau - R410A) 585
- Manque de débit d'air sur batterie extérieure (PAC air/eau) 586
- Panne du manque de débit d'eau sur une PAC air/eau 588
- Panne du compresseur trop petit (PAC air/eau - R410A) 590
- Vanne 4 voies bloquée en position intermédiaire 590
- Détendeur trop fermé (PAC air/eau - R410A) 591
- Prédétente ligne liquide (PAC air/eau - R410A) 591
- Panne du manque de charge sur une PAC air/eau - R407C 606
- Panne du détendeur trop petit sur une PAC air/eau - R407C 608
- Panne du condenseur sale sur une PAC air/eau - R407C 612
- Panne du compresseur trop petit sur une PAC air/eau - R407C 614
- Panne de l'excès de charge ou des incond. PAC air/eau - R407C 618
- Panne de l'évaporateur trop petit sur une PAC air/eau - R407C 620
- Panne du manque de débit d'eau sur une PAC air/eau - R407C 624
- Panne de la prédétente sur une PAC air/eau - R407C 626
- Mauvais montage d'un contrôleur de débit d'eau à palette 637
- Evaporateur colmaté (PAC eau/eau) action des sécurités 639
- Panne du manque de charge (PAC eau/eau - R407C) 650
- Panne du compresseur trop petit (PAC eau/eau - R407C) 654
- Panne de l'évaporateur trop petit (PAC eau/eau - R407C) 656
- Panne de l'excès de charge ou des incond. (PAC eau/eau - R407C) 660
- Installation en fonctionnement normal (PAC eau/eau - R407C) 662
- Panne de prédétente ou de déshy colmaté (PAC eau/eau - R407C) 666
- Panne de manque de débit d'eau condenseur (PAC eau/eau - R407C) 668

Départ
- Vanne départ liquide étranglée (climatiseur) 270
- Collecteur de départ et retour d'eau (Clarinette) 478
- Temp. départ eau chaude en fonction de la temp. ext. 572

Déperditions
- Évaluation des déperditions d'une villa 556
- Calcul de la puissance d'une chaudière selon les déperditions 556
- Sélection de la puissance d'une PAC air/eau 558
- Variation des déperditions de chaleur selon la temp. extérieure 558

Déshumidification
- Puissance frigorifique nécessaire 183
- Puissance sensible, latente et totale 185
- Fonction 'Dry' d'un climatiseur 186
- *Voir : condensats*

Déshydratation
- D'un circuit frigorifique par tirage au vide 235

Déshydrateur
- Filtre déshydrateur 123
- Bouché = prédétente (climatiseur) 274
- Bi-directionnel (fonctionnement) 358
- Déshydrateur anti acides sur groupe de transfert 415
- Colmaté (PAC air/eau - R410A) 591
- Déshy colmaté ou détendeur trop fermé (PAC eau/eau) 666

Désurchauffe
- Des gaz dans le condenseur 136

Détartrage
- D'une chaudière murale 476

Détecteur
- De fuite de fluide frigorigène (réglementation Européenne) 282

Détendeur
- Rôle sur un circuit frigo 81
- Sur un circuit hydraulique 445

Détendeur capillaire
- Fonctionnement (circuit frigorifique) 83
- Influence de la longueur 85
- Influence du diamètre 86
- Sifflement du détendeur 119
- Fonctionnement normal 152
- Comment remplacer un détendeur capillaire 153
- Les différents diamètres des détendeurs capillaires 153
- Capillaire bouché 156
- Situé dans l'unité extérieure 222
- Panne du détendeur trop petit (climatiseur) 278
- Exemple de détendeur trop petit sur un window 303
- Problème 'été' et 'hiver' sur climatiseurs réversibles 350
- Comment faire un appoint de charge en fluide frigo ? 421
- *Voir : détendeur électronique*
- *Voir : détendeur thermostatique*

Détendeur électronique
- Puissance frigorifique en fonction du débit de fluide (Inverter) 390
- Fonctionnement du détendeur électronique 395
- Schéma de principe 396
- Régulation de l'appareil 405
- De type bi-directionnel 407
- Cycle frigorifique PAC air/eau (détendeur électronique) 544
- Cycle frigo PAC air/eau en dégivrage (détendeur électronique) 545

Détendeur thermostatique
- Présentation 573
- Fonctionnement détaillé 574
- Montage en duo (PAC air/eau - R410A) 575
- Détendeur bi-flow (PAC air/eau - R410A) 577
- Emplacement du bulbe (détendeur bi-flow) 579
- Trop fermé (PAC air/eau - R410A) 591
- Trop fermé (PAC eau/eau - R407C) 666

Détente
- Influence sur la température 89
- Problème de la prédétente 218
- Panne de la prédétente, analyse complète (climatiseur) 270
- Exemples de prédétente 273
- Prédétente ligne liquide (PAC air/eau - R410A) 591
- Prédétente ou détendeur trop petit (PAC eau/eau - R407C) 582

Diagnostic
- De la panne de la prédétente 275
- De la panne du détendeur trop petit 281
- De la panne du manque de charge en fluide 288
- De la panne de l'évaporateur trop petit 296
- De la panne du condenseur trop petit 315
- De la panne de l'excès de charge en fluide 319
- De la panne des incondensables 325
- De la panne du compresseur trop petit 329
- Des principales pannes frigorifiques (climatiseur) 332
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R410A 334
- Exemple de panne du condenseur sale sur un split au R410A 336
- Exemple de panne de prédétente sur un split au R407C 338
- Exemple de l'évaporateur trop petit sur un split au R410A 340
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R407C 342

Suite page suivante

Diagnostic (suite)
- Exemple de panne d'un excès de charge sur un split au R407C .344
- Exemple de panne du compresseur trop petit sur un split au R410A .346
- Auto diagnostic (Inverter) .400
- Panne du manque de charge sur une PAC air/eau - R407C .606
- Panne du détendeur trop petit sur une PAC air/eau - R407C .608
- Panne du condenseur sale sur une PAC air/eau - R407C .612
- Panne du compresseur trop petit sur une PAC air/eau - R407C .614
- Panne de l'excès de charge ou des incond. PAC air/eau - R407C .618
- Panne de l'évaporateur trop petit sur une PAC air/eau - R407C .620
- Panne du manque de débit d'eau sur une PAC air/eau - R407C .624
- Panne de la prédétente sur une PAC air/eau - R407C .626
- Panne du manque de charge (PAC eau/eau - R407C) .650
- Panne du compresseur trop petit (PAC eau/eau - R407C) .654
- Panne de l'évaporateur trop petit (PAC eau/eau - R407C) .656
- Panne de l'excès de charge ou des incond. (PAC eau/eau - R407C) .660
- Installation en fonctionnement normal (PAC eau/eau - R407C) .662
- Panne de prédétente ou de déshy colmaté (PAC eau/eau - R407C) .666
- Panne de manque de débit d'eau condenseur (PAC eau/eau - R407C) .668

Diagramme
- Relation pression température de l'eau pure .40
- Pression relative et absolue .42
- Relation pression température du R410A .53

Diamètre
- Influence du diamètre d'un détendeur capillaire .86
- Les différents diamètres des détendeurs capillaires .153
- Des liaisons frigorifiques .209
- Sélection du diamètre des tubes en acier pour l'eau .592
- Sélection du diamètre des tubes en cuivre pour l'eau .597
- De forage pour installer des sondes géothermiques .643

Différence
- Entre raccord 'Quick' et 'Flare' .216
- De niveau entre les 2 unités d'un split .218
- Entre circulateur et pompe .504
- *Voir : delta*

Différentiel
- Régulateur différentiel (circuit solaire) .520
- Disjoncteur différentiel (électricité) .531
- Montage différentiel d'un mano pour mesurer la HMT d'une pompe .550
- Pressostat différentiel pour contrôler un débit d'eau .638

Dilatation
- De l'eau avec la température .461
- De l'eau glycolée avec la température .500

Diode
- Fonctionnement (redressement simple alternance) .385
- Pont de diode (redressement double alternance) .386
- Électroluminescente (LED) .400

Disconnecteur
- Sur réseau d'alimentation en eau de ville .471
- Sur un ballon solaire .490

Disponible
- Pression disponible en sortie d'un kit hydraulique .593

Distance
- Commande à distance d'un climatiseur .195
- Entre les tubes d'un plancher chauffant .537
- Règle des 3D (bouteille casse pression) .567
- Entre les tubes des capteurs enterrés horizontaux .630
- Entre des sondes géothermiques verticales .644
- Entre le puisage et la réinjection dans une nappe phréatique .673

Distribution
- Température maxi de distribution de l'eau sanitaire .527

Diviseuse
- Vanne 3 voies diviseuse .475

Documentation
- *Voir : notice technique*

Double
- Déshydrateur bi-directionnel .358
- Courant redressé double alternance .386
- Détendeur bi-flow .577

Drop-in
- R417A, fluide de substitution du R22 .423

Dry
- Fonction 'déshumidification' .186

Dudgeon
- Confection d'un dudgeon sur du cuivre frigo .213
- Dudgeonnière .214

Durée
- Du dégivrage d'un climatiseur réversible .409
- Température d'apparition du givre .575
- Arrêt du ventilateur pendant un dégivrage (PAC air/eau) .576
- Du dégivrage d'une PAC air/eau .580

Dynamométrique
- Clef dynamométrique .211

- E -

Eau
- Chaleur latente de vaporisation de l'eau .23
- Quantités d'énergies mises en jeu (changements d'état de l'eau) .28
- Bout-elle toujours à 100°C ? .31
- Relation pression température de l'eau pure .40
- Est-elle un bon fluide frigorigène ? .46
- Fluide frigorigène + eau = acide .123
- Condenseur à eau (pour un climatiseur) .201
- Dégivrage d'un climatiseur réversible .409
- Château d'eau .435
- Chauffe-eau électrique .461
- Remplissage en eau d'un circuit solaire .491
- Eau surchauffée .493
- Eau glycolée .495
- Risques de vaporisation de l'eau glycolée (circuit solaire) .497
- Dilatation de l'eau et de l'eau glycolée .500
- Pression de remplissage en eau glycolée (solaire) .514
- Variation du Delta T en fonction du débit d'eau .523
- Puissance calorifique en fonction du Delta T sur l'eau (solaire) .524
- Pression de remplissage en eau d'un circuit plancher chauffant .541
- Pressostat de sécurité Manque d'eau .542
- Relation entre débit d'eau, puissance et Delta T sur l'eau .549
- Température d'apparition du givre .575
- Eau de nappe phréatique .672
- *Voir : condensats*
- *Voir : Pompe à chaleur air/eau*
- *Voir : Pompe à chaleur eau/eau*

Eau chaude
- Produite par un chauffe-eau électrique .461

Suite page suivante

Eau chaude (suite)
- Légionelles dans l'eau chaude stagnante .463
- Stratification des nappes d'eau chaudes selon la température .463
- Brise-jet sur l'alimentation en eau d'un chauffe-eau électrique .464
- Produite par une chaudière murale gaz .471
- Disconnecteur sur réseau d'alimentation en eau de ville .471
- Collecteur de départ et retour d'eau (Clarinette) .478
- Delta T normal sur l'eau (radiateurs) .480
- Produite par un chauffe-eau solaire .487
- Eau surchauffée .493
- Température maxi de distribution de l'eau sanitaire .527
- Danger de l'eau sanitaire trop chaude .528
- Besoins en eau chaude par occupant .531
- Produite par une PAC air/eau .535
- Température maxi dans un plancher chauffant .536
- Delta T sur l'eau d'un plancher chauffant .538
- Sélection du diamètre des tubes en acier pour l'eau .592
- Sélection du diamètre des tubes en cuivre pour l'eau .597
- Produite par une PAC eau/eau au R407C .649

Ébavureur
- Pour tube cuivre .213

Ébullition
- De l'eau .20
- De l'eau en fonction de la pression .33
- De l'eau dans une cocotte minute .39

Écart
- *Voir : delta*

Échange
- De chaleur .12
- Importance de la surface d'échange .93
- A contre-courant et à équicourant .488
- Surface d'échange radiateur et plancher chauffant .568

Échangeur
- Froid et chaud du réfrigérateur .13
- Que se passe-t-il dans le freezer du réfrigérateur ? .64
- Importance de la surface d'échange .93
- Dans une chaudière murale .471
- Dans un chauffe-eau solaire .487
- *Voir : condenseur*
- *Voir : évaporateur*
- *Voir : échangeur à plaques*

Échangeur à plaques
- Utilisé comme condenseur (PAC air/eau) .560
- Vue interne et raccordement (PAC air/eau) .561
- Filtre fin sur un échangeur à plaque .565
- Utilisé en évaporateur .631
- Vue interne en tant qu'évaporateur et condenseur .632
- Intermédiaire sur une PAC eau/eau sur nappe phréatique .675

Échauffement
- D'un récepteur en fonction de l'intensité absorbée .356
- D'un condensateur .318
- D'un compresseur frigo au démarrage .399
- Limitation de la température de refoulement d'un compresseur .404

Échelle
- Échelle des degrés Celsius .14

Écrou
- De type 'Flare' .214

ECS
- Légionelles dans l'Eau Chaude Sanitaire stagnante .463

Suite page suivante

ECS (suite)
- Eau chaude sanitaire produite par une chaudière murale .474
- Eau chaude sanitaire produite par un chauffe-eau solaire 487
- *Voir : solaire*
- *Voir : Pompe à chaleur air/eau*
- *Voir : Pompe à chaleur eau/eau*

Effet
- Effet de serre (GWP) .425

Efficace
- Tension Maximum et efficace .384

Égalisation
- Externe d'un détendeur thermostatique .573

Électrique
- Raccordement électrique d'un climatiseur .194
- Chauffage par résistances électriques (climatiseur) .198
- Bornier des compresseurs monophasé et triphasé .365
- Raccordement d'un ventilo monophasé multi vitesses .378
- Câblage complet d'un climatiseur window .379
- Rappels en courant continu et en courant alternatif .382
- Redressement du courant alternatif .385
- Courant en sortie de la platine Inverter .390
- Courant triphasé .392
- Câblage d'un chauffe-eau électrique .461
- Phase, Terre et Neutre en monophasé .466
- Câblage d'une pompe mono ou triphasée .522
- *Voir : test*

Électrovanne
- De commande de la vanne 4 voies d'inversion de cycle .353

Électro-aimant
- Moteur pas-à-pas du détendeur électronique .395

Électroluminescente
- Diode LED .400

Électrolytique
- Condensateur de démarrage .368

Électronique
- Manomètre électronique .59
- Hachage de phase .383
- Le triac .383
- La diode et le pont de diode .385
- Principe de fonctionnement d'une platine Inverter .389
- Détendeur électronique .395
- Sondes de température CTP et CTN .400

Électrovanne
- Pilote (sur vanne 4 voies d'inversion de cycle) .349
- Les risques de 'griller' la bobine + test .356

Embouage
- Des circuits hydrauliques .483
- Bouteille casse pression en tant que pot de décantation .562

Encastré
- Unité intérieure encastrée .192

Encrassé
- Ailettes ou filtre de l'évaporateur (climatiseur) .292
- Exemple d'évaporateur trop petit (filtre encrassé) sur un window .302
- Exemple d'évaporateur trop petit (évapo encrassé) sur un window .306
- Condenseur encrassé (climatiseur) .310
- Exemple de panne du condenseur encrassé sur un split au R410A .336
- Ailettes de l'évaporateur encrassées (PAC air/eau - R410A) .586
- Échangeur servant de condenseur (PAC air/eau - R410A) .588
- Panne du condenseur sale sur une PAC air/eau - R407C .612
- Panne de l'évaporateur trop petit (PAC eau/eau - R407C) .656
- Panne de prédétente ou de déshy colmaté (PAC eau/eau - R407C) .666

Énergie
- Quantités d'énergies mises en jeu (changements d'état de l'eau) 28
- Quantités d'énergies mises en jeu dans le condenseur 144
- Quantités d'énergies mises en jeu dans l'évaporateur 166
- Quantités d'énergies mises en jeu (circuit frigorifique complet) 175

Enroulement
- Des moteurs monophasés 364
- Des moteurs triphasés 365
- D'un moteur coupé ou en court circuit 366
- D'un moteur à la masse 367
- D'un détendeur électronique 395

Entartrage
- D'un chauffe-eau électrique 467
- D'une chaudière murale 476

Enterré
- Capteurs Horizontaux enterrés (PAC eau/eau) 629
- Capteurs verticaux (PAC eau/eau) 644

Entreprise
- Réglementation Européenne contrôle d'étanchéité des installations 282
- Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes 425
- Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène 426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification 431

Entretien
- Réglementation Européenne contrôle d'étanchéité des installations 282
- Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes 425
- Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène 426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification 431
- *Voir : maintenance*

Envers
- Ventilo-condenseur tourne à l'envers (condenseur trop petit) 312
- Sens de rotation d'une pompe 454

EPDM
- Membrane des vases d'expansion sous pression d'azote 513

Épreuve
- Pression d'épreuve (plancher chauffant) 536

Équicourant
- Échange à équicourant (circuit frigo) 131
- Échange à équicourant (circuit solaire) 488

Équilibrage
- Des pressions HP et BP au démarrage (Inverter) 398

Espace
- Neutre, mort ou nuisible (compresseurs à pistons) 78
- Entre les tubes d'un plancher chauffant 537
- Entre les piquages d'une bouteille casse pression 567
- Entre les tubes des capteurs enterrés horizontaux 630
- Entre des sondes géothermiques verticales 642
- Entre le puisage et la réinjection dans une nappe phréatique 673

Équivalence
- Entre bar, kPa et mCE 436

Ester
- Huile frigorifique 255

Étanchéité
- Réglementation Européenne contrôle d'étanchéité des installations 282
- Palette mobile non étanche (compresseur rotatif) 327
- Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes 425
- Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène 426

Suite page suivante

Étanchéité (suite)
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification 431
- Test d'étanchéité d'un circuit solaire 495
- Problème de l'eau glycolée 497
- Perte de pression par la membrane du vase d'expansion 513
- Test d'étanchéité d'un plancher chauffant 536
- *Voir : fuite*

État physique
- Changement d'état physique 21
- Quantités d'énergies mises en jeu (changements d'état de l'eau) 28
- Passage de liquide à vapeur (vaporisation) 37
- De vapeur à liquide (condensation) 71

Été
- Climatiseur réversible en fonctionnement 'été' 348
- Climatiseur Inverter réversible en fonctionnement 'été' 407
- PAC eau/eau sur plancher rafraîchissant 640

Éther
- Vaporisation de l'éther 47

Etiquettage
- De la nature du fluide frigorigène et de sa quantité 282

Étoupe
- Presse-étoupe des pompes à garniture 453
- Presse-étoupe dans un détendeur thermostatique 573

Étrier
- D'une dudgeonnière 214

Europe
- Réglementation Européenne contrôle d'étanchéité des installations 282
- Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes 425
- Interdiction des fluides à fort GWP 425
- Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène 426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification 431

Évacuation
- Des condensats 188
- Du fluide frigorigène : *voir récupération*

Évaluation
- De la puissance d'un petit climatiseur 182
- De la capacité d'un condenseur 373
- Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes 425
- Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène 426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification 431
- De la surface de panneaux solaires à installer 531
- Relation entre débit d'eau, puissance et Delta T sur l'eau 549
- Des déperditions d'une villa 556
- Calcul de la puissance d'une chaudière selon les déperditions 556
- Des Pertes de charge d'un circuit plancher chauffant 595
- Surface des capteurs enterrés horizontaux (PAC eau/eau) 630
- Nombre de sondes géothermiques (PAC eau/eau) 643
- Puissance d'un échangeur intermédiaire (PAC eau/eau) 678

Évaporateur
- Présentation 60
- Fonctionnement normal (climatiseur) 160
- Surchauffe des vapeurs dans l'évapo 165
- Evolution du fluide frigorigène dans l'évapo 166

Suite page suivante

Bases du Froid | Pompes à chaleur | Hydraulique | Dépannage | Divers

Évaporateur (suite)
- Evolution de la température de l'air (climatiseur) 169
- Mesure de la BP par la température d'une crosse 174
- Surchauffe trop élevée 249
- Surchauffe trop faible 250
- Surchauffe avec le R407C 261
- Surchauffe avec le R410A 266
- Panne de l'évaporateur trop petit (climatiseur) 289
- Manque de débit d'air ou évaporateur encrassé ? 290
- Ailettes de l'évaporateur encrassées 292
- Exemple d'évaporateur trop petit (filtre sale) sur un window 302
- Exemple d'évaporateur trop petit (évapo encrassé) sur un window 306
- Principales familles de pannes frigorifiques 332
- Exemple de manque de débit d'air sur l'évapo d'un split au R410A 340
- Mesure des différentes températures (Inverter) 398
- Dégivrage du climatiseur Inverter réversible 409
- Delta T total sur l'évaporateur (PAC air/eau) 557
- Régulé par un détendeur thermostatique 574
- Température d'apparition du givre 575
- Arrêt du ventilateur pendant un dégivrage (PAC air/eau) 576
- Manque de débit d'air sur batterie extérieure (PAC air/eau) 586
- Panne de l'évaporateur trop petit sur une PAC air/eau - R407C 620
- Vue interne de l'évapo et du condenseur (échangeurs à plaques) 632
- Méthodes de mesure du débit d'eau (évapo, PAC eau/eau) 633
- Perte de charge d'un évaporateur en fonction du débit d'eau 634
- Panne de l'évaporateur trop petit (PAC eau/eau - R407C) 656

Évaporation
- *Voir : vaporisation*

Évent
- Mise à l'atmosphère d'un récipient fermé 437
- Mise à l'atmosphère d'un vase d'expansion ouvert 498

Évolution
- Des différentes températures sur un condenseur 147
- Des différentes températures sur un évaporateur 170
- Du COP en fonction de la temp. extérieure (PAC air/eau) 558
- Des déperditions en fonction de la temp. extérieure 558
- De la température du sol en hiver (PAC eau/eau) 630
- Influence de la BP sur le COP d'une PAC 678

Examen
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification 431

Excentrique
- D'un compresseur à pistons 76
- D'un compresseur rotatif 204

Excès
- De charge en fluide frigorigène (climatiseur) 316
- D'incondensables (climatiseur) 322
- Exemple de panne de l'excès de charge sur un split au R407C 344
- Excès de charge (PAC air/eau - R410A) 585
- De charge en fluide frigorigène (PAC eau/eau R407C) 660

Expansion
- Vase d'expansion sous pression d'azote (principe) 473
- Mise à l'atmosphère d'un vase d'expansion ouvert 498
- Vase d'expansion ouvert dans une automobile 498
- Volume du vase d'expansion (circuit solaire) 499
- Vase d'expansion ouvert sur un circuit solaire 499
- Vase d'expansion sous pression d'azote (fonctionnement) 501
- Vase d'expansion trop gonflé (circuit solaire) 510

Expansion (suite)
- Vase d'expansion pas assez gonflé (circuit solaire) 511
- Pression de gonflage du vase (circuit solaire) 512
- Perte de pression par la membrane du vase 513
- Pression de remplissage d'un circuit solaire 515
- Vase d'expansion à l'aspi ou au refoulement de la pompe (solaire) ? 519
- Pression de gonflage du vase (circuit plancher chauffant) 540
- Pression de remplissage d'un circuit plancher chauffant 541

Extérieure
- Unité extérieure (climatiseur) 119
- Relation entre température extérieure et HP 147
- Notice technique de l'unité extérieure 201
- Installation des unités intérieures et extérieures 225
- Température de la ligne liquide en fonction de la temp. extérieure 243
- Emplacement de l'unité extérieure mal choisi (condenseur trop petit) 311
- Principales familles de pannes frigorifiques 332
- Dégivrage du climatiseur Inverter réversible 409
- Givrage de l'unité extérieure d'une PAC air/eau 542
- Variation des déperditions de chaleur selon la temp. extérieure 558
- Température d'apparition du givre 575
- Arrêt du ventilateur pendant un dégivrage (PAC air/eau) 576
- *Voir : unité extérieure*
- *Voir : PAC air/eau*

Externe
- Égalisation externe d'un détendeur thermostatique 573

- F -

Fan
- Commande à distance d'un climatiseur 196

Fenêtre
- Climatiseur de fenêtre de type 'window' 109

Fermé
- Circuit hydraulique fermé 448
- Détendeur trop fermé (PAC air/eau - R410A) 591
- Détendeur trop fermé (PAC eau/eau R407C) 666

F-gas
- Réglementation Européenne contrôle d'étanchéité des installations 282
- Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes 425
- Interdiction des fluides à fort GWP 425
- Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène 426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification 431

Filtre
- Déshydrateur 154
- Sur l'air (climatiseur) 201
- Déshydrateur colmaté 274
- Filtres à air sales (climatiseur) 292
- Exemple d'évaporateur trop petit (filtre sale) sur un window 302
- Déshydrateur bi-directionnel 358
- Déshydrateur anti acides sur groupe de transfert 415
- Sur l'alimentation en eau de ville 442
- Fin sur un échangeur à plaque 565
- Détendeur trop fermé (PAC air/eau - R410A) 591
- Déshydrateur colmaté (PAC eau/eau - R407C) 666

Fin
- Sonde de fin de dégivrage (PAC air/eau) 580
- Filtre fin sur un échangeur à plaque 565

Flare
- Raccords frigorifiques 211
- Dudgeon 213
- Utilisation des vannes de service (circuit frigo) 228
- Montage des manomètres (circuit frigo) 241

Flexible
- A percuteur (manos du frigoriste) 223
- Danger des percuteurs de flexible 236

Flow
- Flow switch (contrôleur de débit d'eau, fonctionnement) 484
- Flow switch sur un circuit plancher 513
- Détendeur thermostatique bi-flow (PAC air/eau - R410A) 577
- Erreur de montage d'un flow switch 637

Fluide
- L'eau est-elle un bon fluide frigorigène ? 46
- Fluide frigorigène + eau = acide 123
- Précharge à la livraison des unités d'un split 209
- Problèmes soulevés par les nouveaux fluides 254
- Glissement de température des mélanges de fluide 258
- Température de bulle et de rosée du R407C 260
- Charge en fluide avec du R407C et avec R410A 268
- Réglementation Européenne contrôle d'étanchéité des installations 282
- Attestation d'aptitude à manipuler des fluides frigorigènes 282
- Contrôleur de fuite de fluide frigorigène 282
- Panne du manque de charge en fluide (climatiseur) 284
- Panne de l'excès de charge en fluide (climatiseur) 316
- Principales familles de pannes frigorifiques 332
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R410A 334
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R407C 342
- Exemple de panne de l'excès de charge sur un split au R407C 344
- Puissance frigorifique en fonction du débit de fluide (Inverter) 390
- Récupération du fluide en gaz (circuit frigo) 416
- Récupération du fluide en liquide (circuit frigo) 420
- Comment faire un appoint de charge en fluide frigo ? 421
- Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes 425
- Interdiction des fluides à fort GWP 425
- Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène 426
- Rapport annuel (consommation de fluides frigorigènes) 426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification 431
- Complément de charge en fluide (longues tuyauteries frigos) 548
- Fonctionnement normal (PAC air/eau, données constructeur) 557
- Panne du manque de charge (PAC air/eau - R410A) 584
- Panne de l'excès de charge (PAC air/eau - R410A) 585
- Panne du manque de charge sur une PAC air/eau - R407C 606
- Panne de l'excès de charge ou des incond. PAC air/eau - R407C 618
- Panne du manque de charge sur une PAC air/eau - R407C 606
- Panne de l'excès de charge ou des incond. PAC air/eau - R407C 618
- Panne du manque de charge (PAC eau/eau - R407C) 650
- Panne de l'excès de charge ou des incond. (PAC eau/eau - R407C) 660
- Fluide: *voir R + n° du fluide (par exemple R410A)*

Fluorhydrique
- Acide très agressif généré par de l'eau et un HFC 255

Fonctionnement
- Conditions normales de fonctionnement (climatiseur) 241
- Principales familles de pannes frigorifiques 332
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R410A 334
- Exemple de panne du condenseur encrassé sur un split au R410A 336
- Exemple de panne de la prédétente sur un split au R407C 338
- Exemple de manque de débit d'air sur l'évapo d'un split au R410A 340
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R407C 342
- Exemple de panne de l'excès de charge sur un split au R407C 344
- Exemple de panne du compresseur trop petit sur un split au R410A 346
- Principe de fonctionnement d'une platine Inverter 389
- Du flow switch (contrôleur de débit d'eau) 484
- Fonctionnement d'un vase d'expansion sous pression d'azote 501
- Fonctionnement en thermosiphon 504
- Fonctionnement normal (PAC air/eau, données constructeur) 557
- Delta T total sur l'évaporateur (PAC air/eau) 557
- Exemple de fonctionnement normal (PAC air/eau - R410A) 566
- Delta T normaux (PAC air/eau, détendeur bi-flow) 582
- Exemple de fonctionnement normal (PAC air/eau - R407C) 601
- Panne du manque de charge sur une PAC air/eau - R407C 606
- Panne du détendeur trop petit sur une PAC air/eau - R407C 608
- Panne du condenseur sale sur une PAC air/eau - R407C 612
- Panne du compresseur trop petit sur une PAC air/eau - R407C 614
- Panne de l'excès de charge ou des incond. PAC air/eau - R407C 618
- Panne de l'évaporateur trop petit sur une PAC air/eau - R407C 620
- Panne du manque de débit d'eau sur une PAC air/eau - R407C 624
- Panne de la prédétente sur une PAC air/eau - R407C 626
- PAC eau/eau, capteurs horizontaux enterrés 629
- PAC eau/eau, capteurs verticaux 642
- Panne du manque de charge (PAC eau/eau - R407C) 650
- Panne du compresseur trop petit (PAC eau/eau - R407C) 654
- Panne de l'évaporateur trop petit (PAC eau/eau - R407C) 656
- Panne de l'excès de charge ou des incond. (PAC eau/eau - R407C) 660
- Installation en fonctionnement normal (PAC eau/eau - R407C) 662
- Panne de prédétente ou de déshy colmaté (PAC eau/eau - R407C) 666
- Panne de manque de débit d'eau condenseur (PAC eau/eau - R407C) 668
- PAC eau/eau sur nappe phréatique 672

Forage
- Des sondes géothermiques verticales (PAC eau/eau) 643
- Des puits sur une nappe phréatique (PAC eau/eau) 672

Forane ou Fréon 22
- *Voir : R22*

Freezer
- Que se passe-t-il dans le freezer du réfrigérateur ? 64

Fréquence
- D'ouverture / fermeture des clapets de compresseur 79
- Du courant alternatif 382
- Du courant en sortie de la platine Inverter 390

Frigidaire
- *Voir : réfrigérateur*

Frigorigène
- L'eau est-elle un bon fluide frigorigène ? 46
- Réglementation Européenne contrôle d'étanchéité des installations 282
- Attestation d'aptitude à manipuler des fluides frigorigènes 282
- Contrôleur de fuite de fluide frigorigène 282
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R410A 334
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R407C 342

Suite page suivante

Frigorigène (suite)
- Exemple de panne de l'excès de charge sur un split au R407C .344
- Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes .425
- Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène .426
- Rapport annuel (consommation de fluides frigorigènes) .426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo .426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques .428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification .431
- Complément de charge en fluide (longues tuyauteries frigos) .548
- Panne du manque de charge (PAC air/eau - R410A) .584
- Panne de l'excès de charge (PAC air/eau - R410A) .585
- Panne du manque de charge (PAC eau/eau - R407C) .650
- Panne de l'excès de charge ou des incond. (PAC eau/eau - R407C) .660
- Fluide : *voir R + n° du fluide (par exemple R410A)*
- *Voir : récupération*

Frigorifique
- Puissance en fonction de la quantité de fluide vaporisé .63
- Cycle frigo : représentation schématique (climatiseur) .98
- Cycle frigo: résumé du fonctionnement (climatiseur) .100
- Cycle frigo d'un climatiseur monobloc window .115
- Cycle frigorifique d'un climatiseur Split système froid seul .125
- Circuit complet : résumé du fonctionnement normal .174
- Puissance frigorifique nécessaire (évaluation) .182
- Puissance frigorifique sensible, latente et totale .185
- Purge du circuit frigorifique après montage d'un split .233
- Principales familles de pannes frigorifiques .332
- Cycle frigorifique d'un climatiseur réversible .348
- Puissance frigorifique en fonction du débit de fluide (Inverter) .390
- Cycle frigorifique d'un climatiseur Inverter .403
- Cycle frigorifique d'un climatiseur Inverter réversible .407
- Cycle frigorifique PAC air/eau (détendeur électronique) .544
- Cycle frigo PAC air/eau en dégivrage (détendeur électronique) .545
- Puissance en fonction de la surchauffe (PAC air/eau) .573
- Cycle frigorifique PAC air/eau (détendeur thermostatique) .575
- Cycle frigorifique PAC air/eau (détendeur bi-flow) .577
- Puissance de chauffe = Puissance frigo + Puissance compresseur .635
- Cycle frigorifique PAC eau/eau (2 détendeurs thermostatiques) .642
- Puissance du compresseur selon l'écart entre HP et BP .680

Fuite
- De fluide frigorigène : problème du R407C .268
- Réglementation Européenne contrôle d'étanchéité des installations .282
- Contrôleur de fuite de fluide frigorigène .282
- Panne du manque de charge en fluide (climatiseur) .284
- Recherche des fuites .287
- Peut-on faire un appoint de charge en fluide ? .421
- Différence entre R407C et R410A .423
- Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes .425
- Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène .426
- Rapport annuel (consommation de fluides frigorigènes) .426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo .426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques .428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification .431
- Test d'étanchéité d'un circuit solaire .495
- Perte de pression par la membrane du vase d'expansion .513
- Test d'étanchéité d'un plancher chauffant .536
- Panne du manque de charge sur une PAC air/eau - R407C .606

Suite page suivante

Fuite (suite)
- Panne de l'excès de charge ou des incond. PAC air/eau - R407C .618
- Panne du manque de charge (PAC eau/eau - R407C) .650
- Panne de l'excès de charge ou des incond. (PAC eau/eau - R407C) .660
- Fluide: *voir R + n° du fluide (par exemple R410A)*
- *Voir : récupération*

Fusion
- Palier de fusion de la glace .25
- Dégivrage d'un climatiseur réversible en hiver .409
- Arrêt du ventilateur pendant un dégivrage (PAC air/eau) .576
- Dégivrage d'une PAC air/eau .581

FX70
- Autre nom du R404A utilisé en froid commercial .255

- G -

Gâchette
- De commande d'un triac .383

Gaine
- Unité intérieure gainable (climatiseur) .193

Garniture
- Pompe à garniture mécanique (ou à presse-étoupe) .448

Gaz
- Différence de volume avec les liquides .209
- Récupération du fluide en gaz (circuit frigo) .416
- Chaudière murale au gaz .471
- Gaz dissous dans l'eau .472

Gel
- Des tuyauteries (hydraulique) .439
- Différents types de glycol .495
- Circuit solaire auto vidangeable .496
- Température d'apparition du givre .575
- Thermostat antigel (PAC eau/eau sur nappe phréatique) .677
- Risques de gel en récupérant du fluide (PAC air/eau ou eau/eau) .681
- *Voir : givrage*

Générateur
- Tachymétrique .393

Géothermique
- Voir pompe à chaleur eau/eau

Givrage
- Evapo (panne de la prédétente) .272
- Evapo (panne du détendeur trop petit) .278
- Evapo (panne du manque de fluide) .286
- Evapo (panne de l'évaporateur trop petit) .291
- D'un climatiseur réversible en hiver .409
- Pendant une récupération du fluide en gaz .418
- De la batterie extérieure d'une PAC air/eau .542
- Température d'apparition du givre .575
- Arrêt du ventilateur pendant un dégivrage (PAC air/eau) .576
- Sonde de dégivrage (PAC air/eau) .580
- Ventilateur extérieur bloqué par le givre .581
- Du bac de condensats .581
- Risques de gel en récupérant du fluide (PAC air/eau ou eau/eau) .681
- Givrage en été : *voir BP (tous les cas où la BP est faible)*

Glace
- Changement d'état .28
- Bac à glaçons .65
- *Voir : givrage*

Glissement (Glide)
- De température des mélanges de fluide : explications .258
- De température avec le R407C .259
- Température de bulle et de rosée du R407C .260
- De température nul avec le R410A .266

Glycol
- Différents types .495
- Risques de vaporisation de l'eau glycolée (circuit solaire) .497

Gonflage
- Pression de gonflage du vase d'expansion (circuit solaire) .512
- Remplissage rapide en eau glycolée d'un circuit solaire .517
- Pression de gonflage du vase d'expansion (circuit plancher) .540

Graetz
- Pont de diode .386

Graphe
- De fusion et de vaporisation de l'eau .28
- Relation pression température de l'eau .40
- Relation pression température du R410A .53

Grille
- Noire derrière le frigo .12

Grippage
- Pompe grippée .527

Groupe
- De condensation à air .119
- De transfert (station de récupération de fluide frigo) .415
- De sécurité sur un ballon électrique .461
- *Voir : compresseur*

GWP
- Global Warning Potential (des fluides frigorigènes les plus courants) .425
- Interdiction des fluides à fort GWP .425

- H -

Hachage
- De courant (ou de phase) .383

Haut
- Point mort haut d'un piston de compresseur .78

Haute
- Limite haute température d'une chaudière murale .482
- Thermostat de sécurité limite haute (plancher chauffant) .547

Hauteur
- Maxi d'aspiration d'une pompe .458
- HMT : hauteur manométrique totale d'une pompe .518

HCFC
- Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes .425
- Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène .426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo .426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques .428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification .431
- Fluide: *voir R + n° du fluide (par exemple R22)*
- *Voir : récupération*

Heat
- Fonctionnement d'un climatiseur en chauffage .198
- *Voir : climatiseur réversible*

Hélice
- Ventilateur hélicoïde, tangentiel et centrifuge .200
- Du ventilo-condenseur patine sur son arbre .310
- L'hélice du ventilo-condenseur est mal positionnée .314

Hélicoïde
- Ventilateur hélicoïde, tangentiel et centrifuge .200
- Étude d'un régulateur de vitesse du ventilo-condenseur .383

Hermétique
- Compresseur hermétique .123

Hertz
- Fréquence du courant alternatif .382

HFC
- Problèmes soulevés par les nouveaux fluides .254
- Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes .425
- Interdiction des fluides à fort GWP .425
- Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène .426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo .426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques .428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification .431
- Fluide: *voir R + n° du fluide (par exemple R410A)*
- *Voir : récupération*

HFO1234yf
- Fluide utilisé en clim auto en remplacement du R134a .255

Hiver
- Fonctionnement du climatiseur réversible .349
- Fonctionnement du climatiseur Inverter réversible .357
- *Voir : chauffage*
- *Voir : pompe à chaleur*

HMT
- HMT : hauteur manométrique totale d'une pompe .518
- Mesure de la HMT (méthodes) .550
- Courbe débit/pression d'une pompe .552
- Variation de la HMT en fonction de la température .554

Horizontaux
- Capteurs géothermiques enterrés (PAC eau/eau) .629

Horloge
- Réglage de la télécommande d'un climatiseur .196
- Arrêt du ventilateur pendant un dégivrage (PAC air/eau) .576
- Horloge de dégivrage (PAC air/eau) .581

Hot
- Voyant 'Hot keep' .199
- Fonction 'Hot keep' sur split Inverter réversible .408

HP
- Clapet HP d'un compresseur à pistons .99
- Température indiquée par le manomètre HP (R410A) .132
- Mesure de la HP sur une crosse du condenseur .141
- Valeur en fonction de la température extérieure (climatiseur) .147
- Température de la ligne liquide en fonction de la temp. extérieure .243
- Température indiquée par le manomètre HP (R407C) .263
- Température indiquée par le manomètre HP (R410A) .267
- Panne BP ou HP ? .269
- HP élevée (condenseur 'trop petit', climatiseur) .308
- HP élevée (excès de charge, climatiseur) .316
- HP élevée (incondensables, climatiseur) .322
- HP faible, BP élevée (compresseur 'trop petit', climatiseur) .326
- Principales familles de pannes frigorifiques .332
- Exemple de panne du condenseur encrassé sur un split au R410A .336
- Exemple de panne de l'excès de charge sur un split au R407C .344
- Problème des climatiseurs réversibles .351
- Etude d'un régulateur de vitesse du ventilo-condenseur .383
- Exemple de fonctionnement normal (PAC air/eau - R410A) .566
- HP élevée (excès de charge / incondensables, PAC air/eau) .585
- HP élevée (manque de débit d'eau, PAC air/eau - R410A) .588

Suite page suivante

Bases du Froid | Pompes à chaleur | Hydraulique | Dépannage | Divers

HP (suite)
- HP faible, BP élevée (compresseur 'trop petit', PAC air/eau) .590
- HP faible, BP élevée (compresseur trop petit, PAC eau/eau - R407C) .654
- HP élevée (excès de charge / incondensables, PAC eau/eau - R407C) .660
- Valeur normale (PAC eau/eau - R407C) .662
- HP élevée (manque de débit d'eau, PAC eau/eau - R407C) .668
- Puissance du compresseur selon l'écart entre HP et BP .680

HP62
- Autre nom du R404A utilisé en froid commercial .255

Huile
- Frigorifique .207
- Problème des retours d'huile .220
- Huile ester .255
- Huile minérale et problème des mélanges d'huile .256
- Retour d'huile d'une bouteille anti coups de liquide .357
- Problème de la lubrification au démarrage d'un compresseur .399
- Importance des retours d'huile au compresseur .399

Humide
- Température humide de l'air (bulbe humide) .178

Humidité
- Contenue dans l'air atmosphérique .68
- Fluide frigorigène + eau = acide .123
- Relative .173
- Influence sur le confort .186
- Déshydrateur colmaté (climatiseur) .277
- Déshydrateur bi-directionnel .358
- Influence sur le givrage (PAC air/eau) .575
- Déshydrateur colmaté (PAC air/eau - R410A) .590
- Déshy colmaté (PAC eau/eau - R407C) .666
- Voyant liquide indicateur d'humidité .667

HR
- Humidité relative de l'air .173

Hygroscopique
- Huile frigorifique .207
- Huile ester .255

Hz
- Hertz : fréquence du courant alternatif .382

- I -

Identification
- Plaque signalétique d'un climatiseur .200
- Des bouteilles de récupération de fluide frigorigène .414
- Du glycol dans un circuit hydraulique .530
- Plaque signalétique d'une PAC air/eau .548

Impédance
- Chutrice : moteurs monophasés multi-vitesses .377

Impulsion
- D'un détendeur électronique .396

Inclinaison
- Des panneaux solaires .532

Incondensables
- Purge par la méthode de la 'chasse' après montage d'un split .234
- Purge par tirage au vide après montage d'un split .235
- Relation pression température : le piège des incondensables .320
- Panne des incondensables (climatiseur) .322
- Panne des incondensables (PAC air/eau - R410A) .585
- Panne des incondensables (PAC eau/eau - R407C) .660

Individuel
- Chauffe-Eau Solaire Individuel (CESI) .487

Inductive
- Réactance inductive .377

Induite
- Tension induite dans l'enroulement de démarrage (moteurs monos) .375

Inertie
- Comparaison radiateur et plancher chauffant .568

Infra rouge
- Commande à distance .195

Inhibiteur
- De corrosion (dans une solution détartrante) .477

Installation
- De l'unité intérieure (climatiseur split système) .225
- De l'unité extérieure (climatiseur split système) .226
- Principales familles de pannes frigorifiques .332
- Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène .426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo .426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques .428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification .431
- D'un chauffe-eau électrique .461
- D'une chaudière murale gaz .471
- De radiateurs : différents montages .478
- D'un chauffe-eau solaire .487
- Emplacement de la pompe (circuit solaire) .505
- Emplacement du clapet anti retour (circuit solaire) .507
- Emplacement des vannes d'isolement (circuit solaire) .509
- Problème des contre-pentes dans un circuit solaire .516
- Du vase d'expansion par rapport à la pompe (solaire) .519
- Des sondes de régulation d'un circuit solaire .520
- Choix de la surface de panneaux solaires à installer .531
- Précautions à prendre pour installer les panneaux solaires .532
- PAC air/eau .535
- Montage différentiel d'un mano pour mesurer la HMT d'une pompe .550
- PAC eau/eau, capteurs enterrés horizontaux (R410A) .629
- Vue interne de l'évapo et du condenseur (échangeurs à plaques) .632
- PAC eau/eau, capteurs enterrés verticaux .644
- PAC eau/eau sur nappe phréatique .672
- *Voir : montage*

Intensité
- Absorbée par une électrovanne .356
- Absorbée par un condensateur .373
- De démarrage d'un compresseur .399
- Transfo d'intensité .406
- Absorbée par une pompe en fonction du débit .449

Interdiction
- Des fluides à fort GWP .425

Intérieur
- Les différents diamètres intérieurs des capillaires .153
- Différents types d'unité intérieure (climatiseur) .192
- Diamètre des liaisons frigorifiques .209
- Installation des unités intérieures et extérieures .225
- Précharge de l'unité intérieure à l'azote .228
- Vue de l'intérieur du manifold .237
- Sélection du diamètre des tubes en acier pour l'eau .592
- Sélection du diamètre des tubes en cuivre pour l'eau .597
- Diamètre de forage des sondes géothermiques .643
- *Voir : unité intérieure*

Interne
- Protection interne d'un moteur monophasé 380
- Vue interne d'un échangeur à plaque (évapo et condenseur) 632

Intermédiaire
- Échangeur Intermédiaire - PAC eau/eau sur nappe phréatique 675

Intervention
- Réglementation Européenne contrôle d'étanchéité des installation 282
- Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes 425
- Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène 426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 427
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification 431

Inversion
- La vanne 4 voies d'inversion de cycle 347
- Du sens de rotation d'une pompe 522

Inverter
- Principe de fonctionnement d'une platine Inverter 389
- Problème du Delta T sur l'eau (PAC air/eau) 538
- Froid seul : *voir climatiseur Inverter*
- Réversible : *voir climatiseur Inverter réversible*

Isceon 59
- R417A, fluide de substitution au R22 423

Isolation
- Des tuyauteries (circuit frigo) 222
- Tubes frigorifiques pré isolés 223
- Des tuyauteries extérieures (circuit solaire) 532

Isolement
- Contrôle de la résistance d'isolement d'un moteur 368
- Vanne d'isolement sur purgeur auto (circuit solaire) 497
- Où mettre les vannes de service sur un circuit solaire ? 509

- J -

Jet
- Brise-jet sur l'alimentation en eau d'un chauffe-eau électrique 464

Jeu
- De manomètres : *voir bipasse*

Joint
- Torique sur raccord 'Quick' 211
- Problème d'étanchéité avec l'eau glycolée 497

- K -

Keep
- Voyant 'Hot Keep' (climatiseur) 199
- Fonction 'Hot keep' sur split Inverter réversible 408

Kilojoule (kJ)
- Quantités d'énergies mises en jeu (changements d'état de l'eau) 28
- Différentes énergies mises en jeu dans le condenseur 144
- Différentes énergies mises en jeu dans l'évaporateur 166
- Différentes énergies mises en jeu dans un circuit frigo 175

Kilopascal (kPa)
- Equivalence entre bar, kPa et mCE 436

Kit
- Toutes saisons (régulation du ventilo-condenseur) 280
- Pour chauffe-eau solaire 531
- Pression disponible en sortie d'un kit hydraulique 593

Klixon
- Protection interne d'un moteur 380
- Dans le bornier du compresseur 387

- L -

Latente
- Chaleur latente de vaporisation de l'eau 23
- Chaleur latente de fusion de la glace 26
- Chaleur latente de condensation 71
- Puissance frigorifique sensible, latente et totale 185

Lavabo
- L'eau ne coule plus 445

LED
- Diode électroluminescente (auto-diagnostic) 400

Légionelles
- Bactéries dans l'eau chaude stagnante 463

Liaison
- Électrique entre les unités d'un split système 194
- Frigorifique entre les unités d'un split système 209
- Montage et démontage des manos de frigoriste 244
- Bornier des compresseurs monophasé et triphasé 365
- Câblage complet d'un climatiseur window 379
- Entre un groupe de transfert et un circuit frigo 416
- Câblage d'un chauffe-eau électrique 461
- Phase, Terre et Neutre en monophasé 466
- Câblage d'une pompe mono ou triphasée 522
- Sélection du diamètre des tubes en acier pour l'eau 592
- Sélection du diamètre des tubes en cuivre pour l'eau 597
- Échangeur Intermédiaire - PAC eau/eau sur nappe phréatique 675

Ligne
- Ligne liquide (climatiseur window) 114
- Prédétente sur la ligne liquide (climatiseur) 156
- Température de la ligne liquide en fonction de la temp. extérieure 243
- Delta T anormal sur la ligne liquide 271
- Ligne liquide traverse un endroit très chaud (prédétente) 274
- Exemple de panne de la prédétente sur un split au R407C 338
- Sous refroidissement normal (PAC air/eau - R410A) 567
- Prédétente sur la ligne liquide (PAC air/eau R410A) 591
- Panne de la prédétente sur une PAC air/eau - R407C 626
- Prédétente sur la ligne liquide (PAC air/eau R407C) 666

Liquide
- Chaleur latente de condensation 71
- Ligne liquide (climatiseur window) 114
- Sous refroidissement du liquide à la sortie du condenseur 140
- % de liquide en sortie du détendeur 158
- Bouteille anti coups de liquide 204
- Différence de volume avec les gaz 209
- Température de la ligne liquide en fonction de la temp. extérieure 243
- Sous refroidissement trop élevé 251
- Sous refroidissement trop faible 252

Suite page suivante

Liquide (suite)
- Sous refroidissement avec le R407C ... 263
- Sous refroidissement avec le R410A ... 267
- Vanne liquide étranglée (climatiseur) ... 270
- Delta T anormal sur la ligne liquide ... 271
- Ligne liquide traverse un endroit très chaud (prédétente) ... 274
- Exemple de panne de la prédétente sur un split au R407C ... 338
- Bouteille anti coups de liquide ... 357
- Récupération en liquide (circuit frigo) ... 420
- Sous refroidissement normal (PAC air/eau - R410A) ... 567
- Panne de la prédétente sur une PAC air/eau - R407C ... 626
- Panne de prédétente ou de déshy colmaté (PAC eau/eau - R407C) ... 666
- Voyant liquide indicateur d'humidité ... 667

Limite
- Thermostat limite haute température chaudière murale) ... 482
- Thermostat de sécurité limite haute (plancher chauffant) ... 547
- Thermostat limite basse temp. (plancher rafraîchissant) ... 641
- Thermostat antigel (PAC eau/eau sur nappe phréatique) ... 677

Linéaire
- Pertes de charge des tubes acier (circuit hydraulique) ... 592
- Pertes de charge des tubes cuivre (circuit hydraulique) ... 597

Loi
- De Dalton (problème des incondensables) ... 320

Longueur
- Influence de la longueur d'un détendeur capillaire ... 85
- Maximum des tuyauteries frigorifiques ... 220
- Complément de charge en fluide (longues tuyauteries frigos) ... 548

Lubrification
- Problème des retours d'huile ... 220
- Huile ester ... 255
- Huile minérale et problème des mélanges d'huile ... 256
- Retour d'huile d'une bouteille anti coups de liquide ... 357
- Problème de la lubrification au démarrage d'un compresseur ... 399
- Importance des retours d'huile au compresseur ... 399

- M -

Magnétique
- Vanne électromagnétique ... 349
- Détection d'un champ magnétique ... 356
- Quelques rappels de magnétisme ... 395

Main
- Température de la paume d'une main ... 13

Maintenance
- Contrôles des conditions normales de fonctionnement ... 241
- Principales familles de pannes frigorifiques ... 332
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R410A ... 334
- Exemple de panne du condenseur encrassé sur un split au R410A ... 336
- Exemple de panne de la prédétente sur un split au R407C ... 338
- Exemple de manque de débit d'air sur l'évapo d'un split au R410A ... 340
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R407C ... 342
- Exemple de panne de l'excès de charge sur un split au R407C ... 344
- Exemple de panne du compresseur trop petit sur un split au R410A ... 346
- Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes ... 425
- Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène ... 426

Suite page suivante

Maintenance (suite)
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo ... 426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques ... 428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification ... 431
- Fonctionnement normal (PAC air/eau, données constructeur) ... 557
- Exemple de fonctionnement normal (PAC air/eau - R410A) ... 566
- Delta T normaux (PAC air/eau, détendeur bi-flow) ... 582
- Panne du manque de charge sur une PAC air/eau - R407C ... 606
- Panne du détendeur trop petit sur une PAC air/eau - R407C ... 608
- Panne du condenseur sale sur une PAC air/eau - R407C ... 612
- Panne du compresseur trop petit sur une PAC air/eau - R407C ... 614
- Panne de l'excès de charge ou des incond. PAC air/eau - R407C ... 618
- Panne de l'évaporateur trop petit sur une PAC air/eau - R407C ... 620
- Panne du manque de débit d'eau sur une PAC air/eau - R407C ... 624
- Panne de la prédétente sur une PAC air/eau - R407C ... 626
- PAC eau/eau, capteurs enterrés horizontaux (R410A) ... 629
- Vue interne de l'évapo et du condenseur (échangeurs à plaques) ... 632
- Panne du manque de charge (PAC eau/eau - R407C) ... 650
- Panne du compresseur trop petit (PAC eau/eau - R407C) ... 654
- Panne de l'évaporateur trop petit (PAC eau/eau - R407C) ... 656
- Panne de l'excès de charge ou des incond. (PAC eau/eau - R407C) ... 660
- Installation en fonctionnement normal (PAC eau/eau - R407C) ... 662
- Panne de prédétente ou de déshy colmaté (PAC eau/eau - R407C) ... 666
- Panne de manque de débit d'eau condenseur (PAC eau/eau - R407C) ... 668

Manifold
- *Voir : bipasse*

Manomètre
- Pression relative et absolue ... 42
- Les manos du frigoriste ... 55
- Électronique ... 59
- Température indiquée par le mano HP (R410A) ... 132
- Température indiquée par le mano BP (R410A) ... 161
- Différentes valeurs en fonctionnement normal (frigo) ... 174
- Montage et démontage sur vannes de service (frigo) ... 232
- Vue de l'intérieur du manifold ... 237
- Montage sur raccords 'Quick' et vanne 'Flare' (frigo) ... 241
- Démontage sur raccords 'Quick' et vanne 'Flare' (frigo) ... 244
- Montage différentiel d'un mano pour mesurer la HMT d'une pompe ... 550
- Choix du type de mano à utiliser (hydraulique) ... 551

Manométrique
- HMT : hauteur manométrique totale d'une pompe ... 518

Manque
- De charge en fluide frigorigène (climatiseur) ... 268
- Détecteur de fuite ... 282
- Panne du manque de charge en fluide (climatiseur) ... 284
- Manque de débit d'air sur l'évaporateur (climatiseur) ... 290
- Exemple de panne du manque de charge sur un window ... 298
- Manque de débit d'air sur le condenseur (climatiseur) ... 309
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R410A ... 334
- Exemple de manque de débit d'air sur l'évapo d'un split au R410A ... 340
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R407C ... 342
- Pressostat de sécurité Manque d'eau ... 542
- Panne du manque de charge (PAC air/eau - R410A) ... 584
- Manque de débit d'air sur batterie extérieure (PAC air/eau) ... 586
- Panne du manque de débit d'eau sur une PAC air/eau ... 588
- Panne du manque de charge sur une PAC air/eau - R407C ... 606

Suite page suivante

Manque (suite)
Panne du manque de débit d'eau sur une PAC air/eau - R407C .624
Panne du manque de charge (PAC eau/eau - R407C) .650
Panne du manque débit d'eau évapo (PAC eau/eau - R407C) .656
Panne du manque de débit condenseur (PAC eau/eau - R407C) .668
Voir : panne

Marche
Enroulement de marche d'un moteur monophasé .354
Condensateur de marche .368

Masse
Contrôle d'un moteur à la masse .367
Contrôle d'un condensateur à la masse .372

Maximum
Longueur et dénivelé maximums entre 2 unités d'un split .220
Tension maximum aux bornes d'un condensateur .368
Tension maximum (Umax) en courant alternatif .382
Tension maximum et tension efficace .384
Vide maximum obtenable par une pompe centrifuge .457
Limite haute température (chaudière murale) .482
Température maxi de distribution de l'eau sanitaire .527
Limite haute température sur un plancher chauffant .536

mCE
Mètre de colonne d'eau .436

Mélange
Robinet mélangeur .15
De 2 fluides frigorigènes de même nom .48
De 2 huiles frigorifique .207
Problème du mélange d'huile .256
Glissement de température des mélanges de fluide .258
De fluides dans une bouteille de récupération .414
Purge du groupe de transfert (circuit frigo) .419
De 2 glycols différents .495
de températures dans une bouteille casse pression .568

Mélangeuse
Vanne 3 voies mélangeuse, fonctionnement (hydraulique) .570

Membrane
D'un vase d'expansion poreuse .413
D'un détendeur thermostatique .573

Mesure
De la HP par la température d'une crosse du condenseur .141
Des enroulements d'un moteur .366
De la capacité d'un condensateur .373
D'une sonde de température .400
Réglage et mesure du débit sur une clarinette .479
Montage différentiel d'un mano pour mesurer la HMT d'une pompe .550
Choix du type de mano à utiliser (hydraulique) .551
Du débit d'une pompe par sa courbe débit/pression .552
Méthodes de mesure du débit d'eau (évapo, PAC eau/eau) .633

MF ou MFD
Capacité d'un condensateur en microfarad .369

Minimum
Thermostat antigel (PAC eau/eau sur nappe phréatique) .677

Microvanne
Réglage du débit sur les collecteurs de chauffage .479

Miscibilité
De l'huile ester avec les fluides frigorigènes HFC .256

Mitigeur
Thermostatique sur l'eau chaude sanitaire .528

mCE/m
Perte de charge linéaire des tubes en acier (sur l'eau) .592
Perte de charge linéaire des tubes en cuivre (sur l'eau) .597

Mobile
Palette mobile non étanche (compresseur rotatif) .327

Molécule
Définition .35

Monobloc
Voir : climatiseur monobloc

Monoéthylène
Glycol .495

Monophasé
Les moteurs monophasés (étude complète) .364
Rappels sur le courant alternatif .382
Comparaison avec le courant triphasé .392
Phase, Terre et Neutre en monophasé .466
Bornier d'une pompe en mono ou triphasé .522
Voir : moteur

Monopropylène
Glycol .495

Montage
Raccordement frigorifique des 2 unités d'un split .209
Raccords 'Quick' ou 'Flare' .211
Confection d'un dudgeon .213
Installation des unités intérieures et extérieures .225
Manœuvre des vannes de service .228
Montage des manomètres sur les vannes de service .232
Purge du circuit frigorifique après montage d'un split .233
Purge d'un split après montage par la méthode de la 'chasse' .234
Tirage au vide du circuit frigorifique d'un split .235
Montage des manomètres sur raccords 'Quick' et 'Flare' .241
Emplacement de l'unité extérieure mal choisi (condenseur trop petit) .311
Conséquences d'une purge mal faite (circuit frigo) .321
D'une vanne 4 voies d'inversion de cycle .354
D'un groupe de transfert (circuit frigo) .416
Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes .425
Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène .426
Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo .426
Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques .428
Durée des épreuves selon le niveau de certification .431
Montage du bornier d'un circulateur (hydraulique) .448
D'un chauffe-eau électrique .461
Différents montages de radiateurs .478
D'un chauffe-eau solaire .488
Emplacement de la pompe (circuit solaire) .505
Emplacement du clapet anti retour (circuit solaire) .507
Emplacement des vannes d'isolement (circuit solaire) .509
Problème des contre-pentes dans un circuit solaire .516
Du vase d'expansion par rapport à la pompe (solaire) .519
Des sondes de régulation d'un circuit solaire .520
Précautions à prendre pour installer les panneaux solaires .532
D'une PAC air/eau .535
Montage différentiel d'un mano pour mesurer la HMT d'une pompe .550
PAC eau/eau, capteurs enterrés horizontaux (R410A) .629
Vue interne de l'évapo et du condenseur (échangeurs à plaques) .632
D'une PAC eau/eau sur capteurs enterrés horizontaux .633
Problèmes de montage d'un flow switch à palette .637
D'une PAC eau/eau sur capteurs enterrés verticaux .644
D'une PAC eau/eau sur nappe phréatique .672

Montréal
Protocole de Montréal .254

Mort — Point mort bas d'un piston de compresseur 76
Point mort haut d'un piston de compresseur 78
Espace mort d'un compresseur à pistons 78

Moteur — Monophasé (généralités) 354
Bornier des compresseurs monophasé et triphasé 365
Test des enroulements 366
Monophasé : condensateur de marche et de démarrage 368
Techniques de démarrage des moteurs monophasés 374
Couple moteur et couple résistant 377
Monophasé multi-vitesses 377
Variation de la vitesse en fonction de la fréquence (Inverter) 390
A courant continu 393
Fonctionnement du moteur pas-à-pas (détendeur électronique) 395
Pas-à-pas de commande d'un détendeur électronique 396
Moteur d'un circulateur (hydraulique) 448
Câblage pompe mono ou triphasé 522
Servomoteur des vannes 3 voies (hydraulique) 571

Multicellulaire — Pompe pour fortes pressions 459

Murale — Unité intérieure murale d'un split 191
Chaudière murale gaz 471

- N -

Nappe phréatique — Généralités sur les caractéristiques de l'eau 672
Puits d'alimentation et de réinjection 673
Voir : PAC eau/eau

Négative — Alternance (courant alternatif) 382

Neuf — Trappe d'air neuf (climatiseur monobloc) 114

Neutre — Espace neutre d'un compresseur à pistons 78
Phase, Terre et Neutre en monophasé 466
Point neutre donné par le vase d'expansion 518

Niveau — Sonore 199
De certification des intervenants sur un circuit frigo 426
Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
Durée des épreuves selon le niveau de certification 431

Normal — Conditions normales de fonctionnement (climatiseur) 241
Fonctionnement normal (PAC air/eau, données constructeur) 557
Exemple de fonctionnement normal (PAC air/eau - R410A) 566
Delta T normaux (PAC air/eau, détendeur bi-flow) 582
Exemple de fonctionnement normal (PAC air/eau - R407C) 601
Exemple de fonctionnement normal (PAC eau/eau - R407C) 662

Notice technique — Généralités 176
De l'unité intérieure (climatiseur) 191
De l'unité extérieure (climatiseur) 201
Plaque signalétique d'un climatiseur 206
Plaque signalétique d'une PAC air/eau 548

Nuisible — Espace nuisible d'un compresseur à pistons 78

- O -

ODP — Coefficient de destruction de l'ozone ds fluides 425

Ohmmètre — Contrôle des enroulements d'un moteur 366
A magnéto (contrôle de la résistance d'isolement) 368

Optimal — COP (Coefficient Optimal de Performance) 189
Voir : COP

Orbital — Compresseur 'Scroll' ou spiro-orbital 391

Organigramme — De la panne de la prédétente 275
De la panne du détendeur trop petit 281
De la panne du manque de charge en fluide 288
De la panne de l'évaporateur trop petit 296
De la panne du condenseur trop petit 315
De la panne de l'excès de charge en fluide 319
De la panne des incondensables 325
De la panne du compresseur trop petit 329
Des principales pannes frigorifiques (climatiseur) 332

Oscilloscope — Aspect du courant alternatif 384
Comparaison entre monophasé et triphasé 392
Phase, Terre et Neutre en monophasé 466

Ouie — D'aspiration d'une pompe 447

Outillage — Coupe tube et ébavureur 213
Dudgeonnière 214
Pompe à vide 235
Jeu de manomètres (manifold) 237
Détecteur de fuites de fluide frigorigène 287
Balance de charge pour fluide frigorigène 414
Nécessaire pour obtenir un agrément 426
Du type de mano à utiliser (hydraulique) 551

Ouvert — Circuit hydraulique ouvert 449
Vase d'expansion ouvert (circuit solaire) 499

Ozone — Impact des nouveaux fluides frigorigènes 255
ODP : coefficient de destruction de l'ozone 425

- P -

Pa — Pascal, équivalence avec bar et mCE 436

PAC — Pompe à chaleur : *voir climatiseur réversible*
Voir : Pompe à chaleur air/eau
Voir : Pompe à chaleur eau/eau

Palette
- Mobile d'un compresseur rotatif 204
- Palette mobile non étanche (compresseur rotatif) 327
- Problèmes de montage d'un flow switch à palette 637

Palier
- De vaporisation de l'eau 26
- De fusion de la glace 25
- De condensation fluide frigorigène 139
- De vaporisation 168

Panne
- BP ou HP 269
- Panne de la prédétente, analyse complète (climatiseur) 270
- Exemples de prédétente 273
- Détendeur trop petit : analyse complète (climatiseur) 275
- Panne du détendeur trop petit : exemples 268
- Manque de charge en fluide, analyse complète (climatiseur) 284
- Panne du manque de charge : recherche des fuites 287
- Évaporateur trop petit : analyse complète (climatiseur) 289
- Panne de l'évaporateur trop petit : exemples 292
- Exemple de panne du manque de charge sur un window 298
- Exemple de prédétente sur un window 299
- Exemple d'évaporateur trop petit (filtre sale) sur un window 302
- Exemple de détendeur trop petit sur un window 303
- Exemple d'évaporateur trop petit (évapo encrassé) sur un window 306
- Condenseur trop petit : analyse complète (climatiseur) 289
- Panne du condenseur trop petit : exemples 310
- Excès de charge : analyse complète (climatiseur) 316
- Incondensables : analyse complète (climatiseur) 322
- Compresseur trop petit : analyse complète (climatiseur) 328
- Principales familles de pannes frigorifiques 332
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R410A 334
- Exemple de panne du condenseur sale sur un split au R410A 336
- Exemple de panne de prédétente sur un split au R407C 338
- Exemple de l'évaporateur trop petit sur un split au R410A 340
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R407C 342
- Exemple de panne d'un excès de charge sur un split au R407C 344
- Exemple de panne du compresseur trop petit sur un split au R410A 346
- Pannes de la vanne 4 voies d'inversion de cycle 353
- Test d'un moteur 366
- Test d'un condensateur 368
- Comment faire un appoint de charge en fluide frigo ? 421
- Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes 425
- Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène 426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification 431
- Problème d'amorçage d'une pompe 453
- Diverses pannes sur un chauffe-eau électrique 465
- Chaudière murale entartrée 477
- Radiateur ne chauffe pas 482
- Vase d'expansion trop gonflé (circuit solaire) 510
- Vase d'expansion pas assez gonflé (circuit solaire) 511
- Perte de pression par la membrane du vase d'expansion 513
- Pompe tourne à l'envers (circuit solaire) 522
- Circulateur en panne (circuit solaire) 526
- Courts-cycles d'une PAC air/eau surdimensionnée 560

Suite page suivante

Panne (suite)
- Bouteille casse pression (problème de débit) 564
- Température d'apparition du givre 575
- Ventilo extérieur bloqué par le givre 581
- Panne du manque de charge (PAC air/eau - R410A) 584
- Panne de l'excès de charge ou des incondensables (PAC air/eau) 585
- Manque de débit d'air sur batterie extérieure (PAC air/eau) 586
- Panne du manque de débit d'eau sur une PAC air/eau 588
- Panne du compresseur trop petit (PAC air/eau - R410A) 590
- Vanne 4 voies bloquée en position intermédiaire 590
- Détendeur trop fermé (PAC air/eau- R410A) 591
- Panne du manque de charge sur une PAC air/eau - R407C 606
- Panne du détendeur trop petit sur une PAC air/eau - R407C 608
- Panne du condenseur sale sur une PAC air/eau - R407C 612
- Panne du compresseur trop petit sur une PAC air/eau - R407C 614
- Panne de l'excès de charge ou des incond. PAC air/eau - R407C 618
- Panne de l'évaporateur trop petit sur une PAC air/eau - R407C 620
- Panne du manque de débit d'eau sur une PAC air/eau - R407C 624
- Panne de la prédétente sur une PAC air/eau - R407C 626
- Mauvais montage d'un contrôleur de débit d'eau à palette 637
- Évaporateur colmaté (PAC eau/eau) action des sécurités 639
- Panne du manque de charge (PAC eau/eau - R407C) 650
- Panne du compresseur trop petit (PAC eau/eau - R407C) 654
- Panne de l'évaporateur trop petit (PAC eau/eau - R407C) 656
- Panne de l'excès de charge ou des incond. (PAC eau/eau - R407C) 660
- Installation en fonctionnement normal (PAC eau/eau - R407C) 662
- Panne de prédétente ou de déshy colmaté (PAC eau/eau - R407C) 666
- Panne de manque de débit d'eau condenseur (PAC eau/eau - R407C) 668

Panneau
- Panneaux solaires 487
- Choix de la surface de panneaux solaires à installer 531
- Voir : *solaire*

Papier
- Condensateur de marche 368

Parallèle
- Décalage parallèle des tourteaux d'une pompe 454
- Pertes de charge en série ou en parallèle (hydraulique) 596

Paramètre
- Paramètres influençant les pertes de charge 441

Pas
- Écartement des ailettes (climatiseur) 293
- Écartement des tubes d'un plancher chauffant 536
- Disposition des capteurs enterré horizontaux (PAC eau/eau) 630
- Disposition des capteurs enterré verticaux (PAC eau/eau) 644
- Disposition des puits (PAC eau/eau sur nappe phréatique) 672

Pas-à-pas
- Moteur de commande d'un détendeur électronique 395

Pascal (Pa)
- Pression en Pascal 32
- Équivalence entre bar, kPa et mCE 436

Paume
- Température de la paume d'une main 13

PdC
- *Voir : pertes de charge*

PEHD
- Polyéthylène haute densité (PAC eau/eau sur nappe phréatique) 672

Peigne
- A ailettes (climatiseur) 293

Pente
- Problème des contre-pentes dans un circuit solaire 516

PER — Polyéthylène réticulé (tube pour plancher chauffant) 536

Percuteur — Flexible de manomètre à percuteur 223
Problème des flexibles à percuteur 236

Performance — *Voir : COP (Coefficient Optimal de Performance)*

Période — D'un courant alternatif 382

Permanent — Condensateur de marche 368

Perte — De pression par la membrane du vase d'expansion 513

Perte de charge — Mise en évidence (hydraulique) 440
Paramètres influençant les pertes de charge 441
Bruits engendrés par des PdC importantes 442
Sélection du diamètre des tubes en acier pour l'eau 592
Exemple de calcul (circuit plancher chauffant) 595
En série et en parallèle (hydraulique) 596
Sélection du diamètre des tubes en cuivre pour l'eau 597
Différence entre eau et eau glycolée 630
Perte de charge d'un évaporateur en fonction du débit d'eau 634
Relation entre débit d'eau et pertes de charge 638
De 2 échangeurs montés en parallèle 638

Phase — Hachage de phase 383
Courant monophasé et triphasé 392
Phase, Terre et Neutre en monophasé 466

Phréatique — *Voir : PAC eau/eau*

Physique — Changement d'état physique 21

Pince — Ampèremétrique 373

Piquage — Des tubes sur une bouteille casse pression (règle des 3 D) 567

Piston — D'un compresseur 76
Point mort bas d'un piston de compresseur 76
Point mort haut d'un piston de compresseur 78
Compresseur à pistons : fonctionnement normal 128
Roulant d'un compresseur rotatif 204
Compresseur à pistons 'secs' 415

Plafonnier — Unité intérieure de type plafonnier 192

Plage — D'utilisation des manomètres BP 59

Plancher chauffant — Généralités 536
D'étanchéité d'un circuit plancher chauffant 536
Pression d'épreuve d'un plancher chauffant 536
Distance entre tubes d'un plancher chauffant 537
Températures maxi de l'eau et du sol 537
Delta T sur l'eau 538
Pression de gonflage du vase d'expansion 540
Pression de remplissage en eau d'un circuit plancher chauffant 541
Thermostat de sécurité limite haute 547
Régulation par un thermostat qui coupe la pompe 570
Régulation par une vanne 3 voies 572
Refroidissement pendant le dégivrage de la PAC air/eau 580

Plancher rafraîchissant — Généralités 640
Fonctionnement avec une PAC eau/eau réversible 641

Plaque — A clapets du compresseur à pistons 77
Signalétique d'un climatiseur 206
A bornes des compresseurs monophasé et triphasé 365
A borne d'un ventilo mono multi vitesses 378
A borne pompe mono ou triphasée 522
Signalétique d'une PAC air/eau 548
Échangeur à plaques utilisé comme condenseur (PAC air/eau) 560
Voir : échangeur à plaques

Plate — Différence entre courbe plate et courbe plongeante d'une pompe 637

Platine — *Voir : climatiseur Inverter*

Plongeante — Différence entre courbe plate et plongeante d'une pompe 637

Plongeur — Pression de l'eau exercée sur un plongeur 32
Tube plongeur d'une bouteille de fluide frigorigène 51
Tube plongeur d'une bouteille de récupération de fluide 414
Augmentation de pression avec la profondeur d'immersion 436

Point — Mort bas d'un piston de compresseur 76
Mort haut d'un piston de compresseur 78
Neutre donné par un vase d'expansion 518

Polyéthylène — Réticulé (tube PER pour plancher chauffant) 536

Pôle — Nord et Sud d'un aimant 395

Pompe — A vélo : comparaison avec le compresseur à pistons 74
A vide pour circuit frigo 235
Pompe à eau : différents types 447
Pompe à eau : puissance absorbée en fonction du débit 450
Crépine sur l'aspiration d'une pompe 451
Pompe à eau : sens de rotation 454
Décalage parallèle ou angulaire (pompe à presse-étoupe) 454
Vide maximum obtenable par une pompe centrifuge 457
Hauteur maximum d'aspiration d'une pompe 458
Pompe à eau multicellulaire (pour fortes pressions) 459
Emplacement de la pompe (circuit solaire) 505
Par thermosiphon (sans pompe) 502
Différence entre circulateur et pompe 504
Régulation de la pompe sur un circuit solaire 506
Pompe auxiliaire de remplissage d'un circuit solaire 517
Purge d'un circuit solaire avec une pompe auxiliaire 517
Montage du vase d'expansion par rapport à la pompe (solaire) 519
Bornier d'une pompe mono ou triphasée 522
Débit et HMT si la pompe tourne à l'envers 522
Pompe à vitesse variable 525
Pompe grippée 527
Montage différentiel d'un mano pour mesurer la HMT d'une pompe 550
Courbe débit/pression d'une pompe 552
Variation de la HMT d'une pompe en fonction de la température 554
Pompe primaire et secondaire sur bouteille casse pression 564
Pression disponible en sortie d'un kit hydraulique 593

Suite page suivante

Pompe (suite)
- Différence entre courbe plate et courbe plongeante d'une pompe .637
- De puisage sur une nappe phréatique .673
- *Voir : circulateur*
- *Voir : Pompe à chaleur*

Pompe à chaleur air/eau
- Présentation .535
- Delta T total au condenseur .538
- Givrage de la batterie extérieure .542
- Fonctionnement en chauffage (détendeur électronique) .544
- Cycle frigorifique (détendeur électronique) .544
- Cycle frigorifique en dégivrage (détendeur électronique) .545
- Chauffage d'appoint sur PAC air/eau .546
- Lecture détaillée de la plaque signalétique .548
- Delta T total sur l'évaporateur .557
- Fonctionnement normal (données constructeur) .557
- Variation de la puissance en fonction de la temp. extérieure .559
- Comment sélectionner la puissance de la PAC ? .559
- Courts-cycles d'une PAC air/eau surdimensionnée .560
- Paramètres de fonctionnement normaux (PAC air/eau - R410A) .566
- Température d'apparition du givre .575
- Montage avec 2 détendeurs thermostatiques (PAC air/eau) .575
- Arrêt du ventilateur pendant un dégivrage (PAC air/eau) .576
- Montage avec un détendeur bi-flow (PAC air/eau) .577
- Sonde de dégivrage et de fin de dégivrage (PAC air/eau) .580
- Delta T normaux (PAC air/eau, détendeur bi-flow) .582
- Panne du manque de charge (PAC air/eau - bi-flow - R410A) .584
- Panne de l'excès de charge ou des incondensables (PAC air/eau) .585
- Manque de débit d'air sur batterie extérieure (PAC air/eau) .586
- Panne du manque de débit d'eau sur une PAC air/eau .588
- Panne du compresseur trop petit (PAC air/eau - R410A) .590
- Vanne 4 voies bloquée en position intermédiaire .590
- Détendeur trop fermé ou prédétente sur la ligne liquide (R410A) .591
- Exemple de fonctionnement normal (PAC air/eau - R407C) .601
- COP et COP annuel .630
- Risques de gel en récupérant du fluide (PAC air/eau ou eau/eau) .681

Pompe à chaleur eau/eau
- Sur capteurs géothermiques horizontaux (présentation) .629
- COP et COP annuel .630
- Installation des tubes horizontaux .630
- Vue interne de l'évapo et du condenseur (échangeurs à plaques) .632
- Delta T sur l'eau glycolée du circuit enterré .633
- Perte de charge de l'évaporateur en fonction du débit d'eau .634
- Choix de la pompe (courbe plate ou plongeante) .637
- Mauvais montage d'un contrôleur de débit d'eau à palette .637
- Évaporateur colmaté (PAC eau/eau) action des sécurités .639
- Fonctionnement en été sur plancher rafraîchissant .640
- Sur sondes géothermiques verticales (présentation) .643
- Delta T sur l'eau glycolée du circuit enterré .646
- Panne du manque de charge (PAC eau/eau - R407C) .650
- Panne du compresseur trop petit (PAC eau/eau - R407C) .654
- Panne de l'évaporateur trop petit (PAC eau/eau - R407C) .656
- Panne de l'excès de charge ou des incond. (PAC eau/eau - R407C) .660
- Installation en fonctionnement normal (PAC eau/eau - R407C) .662
- Panne de prédétente ou de déshy colmaté (PAC eau/eau - R407C) .666
- Panne de manque de débit d'eau condenseur (PAC eau/eau - R407C) .668

Suite page suivante

Pompe à chaleur eau/eau (suite)
- Sur nappe phréatique (présentation) .672
- Delta T sur l'eau de forage d'une nappe phréatique .673
- Échangeur Intermédiaire - PAC eau/eau sur nappe phréatique .675
- Risques de gel en récupérant du fluide (PAC air/eau ou eau/eau) .681

Pont
- De diodes .386

Poreux
- Perte de pression par la membrane du vase d'expansion .513

Positive
- Alternance (courant alternatif) .382

Pot
- Bouteille casse pression en tant que pot de décantation .562

Pourcentage
- De liquide et de vapeur à la sortie du détendeur .158

ppm
- Parties par million (mg/kg) .282

Pratique
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques .428

Précharge
- Des unités à la livraison (climatiseur split système) .209
- De l'unité intérieure à l'azote .228
- Pression de gonflage d'un vase d'expansion (circuit solaire) .512

Prédétente
- Explication du phénomène (circuit frigo) .218
- Panne de la prédétente, analyse complète (climatiseur) .270
- Exemples de prédétente .273
- La ligne liquide traverse un endroit très chaud (prédétente) .274
- Exemple de prédétente sur un window .299
- Exemple de détendeur trop petit sur un window .303
- Exemple de panne de la prédétente sur un split au R407C .338
- Prédétente sur la ligne liquide (PAC air/eau - R410A) .591
- Panne de la prédétente sur une PAC air/eau - R407C .626
- Prédétente ou détendeur trop petit (PAC eau/eau - R407C) .666

Prégonflage
- Pression de gonflage d'un vase d'expansion (circuit solaire) .512

Pré-isolé
- Tube frigorifique pré-isolé .223

Presse étoupe
- Pompe à presse étoupe (ou garniture rotative) .448
- Réglage du goutte à goutte (pompe à presse étoupe) .453
- Dans un détendeur thermostatique .573

Pression
- Atmosphérique .32
- Relation pression température de l'eau .33
- Relation pression température (explications) .35
- Interne et externe de l'eau .36
- Relation pression température de l'eau pure .40
- Pression relative et absolue .42
- Vide absolu .42
- Relation pression température du R410A .53
- Evolution des pressions dans le cylindre d'un compresseur .76
- Relation pression température dans le condenseur .138
- HP en fonction de la température extérieure .147
- Relation pression température dans l'évaporateur .167
- BP en fonction de la température ambiante .170
- Mesure sur une vanne de service d'un compresseur .228
- Prise de pression à valve (Schrader) .230
- Relation pression température du R407C .260
- Relation pression température : le piège des incondensables .320

Suite page suivante

Pression (suite)
Pression statique (hydraulique) 437
Relation entre débit d'eau et pression 443
Pompe à eau multicellulaire (pour fortes pressions) 459
Fonctionnement d'un vase d'expansion sous pression d'azote 501
Pression de gonflage d'un vase d'expansion (circuit solaire) 512
Perte de pression par la membrane du vase d'expansion 513
Pression de remplissage d'un circuit solaire 514
HMT d'une pompe 518
Pression d'épreuve d'un plancher chauffant 536
De gonflage du vase d'expansion (plancher chauffant) 540
Pression de remplissage d'un circuit plancher chauffant 541
Courbe débit/pression d'une pompe 552
Bouteille casse pression (présentation) 561
Pression disponible en sortie d'un kit hydraulique 593

Pressostat
Sécurité Manque d'eau 542
Pressostat différentiel pour contrôler un débit d'eau 638

Primaire
Circuit hydraulique primaire (bouteille casse pression) 563
Débit primaire et secondaire (bouteille casse pression) 564

Principal
Enroulements principal (ou de marche) d'un moteur 354

Priorité
A l'eau chaude sanitaire dans une chaudière murale 474

Prise
De pression sur une vanne de service d'un compresseur 228
De pression à valve (Schrader) 230
Prise d'air entre condenseur et ventilateur (panne HP) 313

Production
D'eau chaude par un chauffe-eau électrique 461
D'eau chaude par une chaudière murale 471
D'eau chaude par un chauffe-eau solaire 487
D'eau chaude par une PAC air/eau 535
D'eau chaude par une PAC eau/eau 629
D'eau froide par une PAC eau/eau (plancher rafraîchissant) 640

Professionnel
Contrôle de la capacité (réglementation Européenne 426
Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène 426
Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 426
Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
Durée des épreuves selon le niveau de certification 431

Profondeur
D'enfouissement de capteurs horizontaux 630
De forage pour installer des sondes géothermiques 643
De forage pour utiliser une nappe phréatique 672

Progressif
Servomoteur d'une vanne 3 voies (hydraulique) 571

Protection
Interne d'un moteur monophasé 380
Voir : sécurité

Protocole
De Montréal 254

PSC
Démarrage des moteurs monophasés 374

Psychromètre
Fonctionnement 179

Puissance
Frigorifique nécessaire (climatiseur) 182
De déshumidification 183

Suite page suivante

Puissance (suite)
Frigorifique sensible, latente et totale 185
Calorifique (climatiseur) 188
Électrique absorbée (climatiseur) 189
Principales familles de pannes frigorifiques 332
Puissance frigorifique en fonction du débit de fluide (Inverter) 390
Absorbée par une pompe en fonction du débit 450
Calorifique en fonction du Delta T sur l'eau (circuit solaire) 524
Choix de la surface de panneaux solaires à installer 531
Relation entre débit d'eau, puissance et Delta T sur l'eau 549
Évaluation des déperditions d'une villa 556
Calcul de la puissance d'une chaudière selon les déperditions 556
Sélection de la puissance de la PAC air/eau à installer 558
D'une PAC air/eau en fonction de la Temp. extérieure 559
Température extérieure de sélection d'une PAC air/eau 559
De chauffe = Puissance frigo + Puissance du compresseur 635
De l'échangeur intermédiaire (PAC eau/eau sur nappe) 592
Influence des pressions sur la puissance frigorifique 679

Puits
D'alimentation et de réinjection (PAC sur nappe phréatique) 673

Purge
De l'air et de l'azote d'un split après montage 233
Après montage d'un split par la méthode de la chasse 234
Par tirage au vide du circuit frigorifique 235
Des flexibles du bipasse de frigoriste 245
Conséquences d'une purge mal faite (circuit frigo) 321
D'un groupe de transfert (circuit frigo) 419
D'un circuit solaire auto-vidangeable 496
Problème des purgeurs automatiques sur circuits solaires 497
Problème des contre-pentes (circuit solaire) 516
Purge manuelle d'un circuit solaire 517
Purge d'un circuit solaire avec une pompe auxiliaire 517
Pot de purge (bouteille casse pression) 562

Purgeur
Automatique en hydraulique (fonctionnement) 472
Vanne d'isolement sur purgeur auto (circuit solaire) 497

- Q -

Qualité
De l'eau d'une nappe phréatique 672

Quantité
Quantités d'énergies mises en jeu (changements d'état de l'eau) 28
Maximale de fluide dans une bouteille 414

Quick
Raccord 'Quick' (circuit frigo) 209
Montage des manomètres du frigoriste 241

- R -

R12
Ancien fluide utilisé en froid commercial et en clim auto 254

R134a
HFC très utilisé (aujourd'hui abandonné) en clim automobile 255

R22
- Ancien fluide le plus utilisé en clim 254
- Bouteille de récupération 414
- Procédure de récupération 416
- Récupération du fluide en gaz 416
- Récupération du fluide en liquide 420
- R417A, fluide de substitution au R22 423
- La réglementation décrétant la “ mort ” du R22 425
- Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène 426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification 431

R404A
- HFC utilisé en froid commercial 255

R407C
- Explication du glissement de température 258
- Température de bulle et de rosée 260
- Surchauffe à l'aspiration avec le R407C 261
- Sous refroidissement avec le R407C 263
- Charge en fluide avec du R407C et avec R410A 268
- Charge en liquide obligatoire 268
- Exemple de panne de la prédétente sur un split au R407C 338
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R407C 342
- Exemple de panne de l'excès de charge sur un split au R407C 344
- Bouteille de récupération 414
- Procédure de récupération 418
- Récupération du fluide en gaz 416
- Récupération du fluide en liquide 420
- Problème de la charge en fluide 423
- Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes 425
- Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène 426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification 431
- Exemple de fonctionnement normal (PAC air/eau - R407C) 601
- Panne du manque de charge sur une PAC air/eau - R407C 606
- Panne du détendeur trop petit sur une PAC air/eau - R407C 608
- Panne du condenseur sale sur une PAC air/eau - R407C 612
- Panne du compresseur trop petit sur une PAC air/eau - R407C 614
- Panne de l'excès de charge ou des incond. PAC air/eau - R407C 618
- Panne de l'évaporateur trop petit sur une PAC air/eau - R407C 620
- Panne du manque de débit d'eau sur une PAC air/eau - R407C 624
- Panne de la prédétente sur une PAC air/eau - R407C 626
- Panne du manque de charge (PAC eau/eau - R407C) 650
- Panne du compresseur trop petit (PAC eau/eau - R407C) 654
- Panne de l'évaporateur trop petit (PAC eau/eau - R407C) 656
- Panne de l'excès de charge ou des incond. (PAC eau/eau - R407C) 660
- Installation en fonctionnement normal (PAC eau/eau - R407C) 662
- Panne de prédétente ou de déshy colmaté (PAC eau/eau - R407C) 666
- Panne de manque de débit d'eau condenseur (PAC eau/eau - R407C) 668

R410A
- Présentation 48
- Relation pression température du R410A 49
- Bouteille de fluide frigorigène R410A 51
- Les manos du frigoriste 55
- L'évaporation du R410A 61

Suite page suivante

R410A (suite)
- Surchauffe à l'aspiration avec le R410A 266
- Sous refroidissement avec le R410A 267
- Charge en liquide ou en gaz ? 268
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R410A 334
- Exemple de panne du condenseur encrassé sur un split au R410A 336
- Exemple de manque de débit d'air sur l'évapo d'un split au R410A 340
- Exemple de panne du compresseur trop petit sur un split au R410A 346
- Bouteille de récupération 414
- Procédure de récupération 418
- Récupération du fluide en gaz 416
- Récupération du fluide en liquide 420
- Problème de la charge en fluide 423
- Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes 425
- Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène 426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification 431
- Exemple de fonctionnement normal (PAC air/eau - R410A) 566

R417A
- Fluide de substitution au R22 423

R502
- Ancien fluide utilisé en froid commercial (en congélation) 254

Raccord
- De type 'Quick' (circuit frigo) 209
- De type 'Flare' (circuit frigo) 211

Raccordement
- Importance du raccordement des condensats 124
- Des condensats (climatiseur) 187
- Électrique du climatiseur 203
- Frigorifique entre les 2 unités d'un split 209
- Raccords 'Quick' ou 'Flare' 211
- Confection d'un dudgeon 213
- Manœuvre des vannes de service 228
- Montage des manomètres sur les vannes de service 232
- Purge d'un split après montage par la méthode de la 'chasse' 234
- Pour effectuer un tirage au vide du circuit 235
- Du manifold 237
- Montage des manomètres sur raccords 'Quick' et 'Flare' 241
- Conséquences d'une purge mal faite (circuit frigo) 321
- D'une vanne 4 voies d'inversion de cycle 347
- Câblage complet d'un climatiseur window 379
- D'un groupe de transfert (circuit frigo) 416
- Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène 426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 426
- D'un circulateur (hydraulique) 448
- D'un chauffe-eau électrique 461
- Phase, Terre et Neutre en monophasé 466
- D'une chaudière murale 471
- Différents montages de radiateurs 478
- D'un chauffe-eau solaire 488
- D'une PAC air/eau 535
- Vue interne de l'évapo et du condenseur (échangeurs à plaques) 632
- D'une PAC eau/eau sur des capteurs enterrés horizontaux 633
- Précaution de montage d'un flow switch à palette 637
- D'une PAC eau/eau sur capteurs enterrés verticaux 644
- D'une PAC eau/eau sur une nappe phréatique 672

Radiateur
Fonctionnement de l'échange de chaleur 15
Différents montages 478
Delta T normal sur l'eau (radiateurs) 480
Té de réglage sur un radiateur 484
En panne : ne chauffe pas 482
Robinet thermostatique sur un radiateur 485
Fonctionnement de radiateurs en thermosiphon 503
Basse température 568
Delta T sur l'eau 569
Régulé par un thermostat qui arrête la pompe 570
Régulé par une vanne 3 voies 572
Radiateurs alimentés en eau glacée 642

Rafraîchissant
Plancher alimenté en eau froide 640

Rapide
Remplissage rapide en eau glycolée d'un circuit solaire 517
Voir : raccord 'Quick'

Rapport
Rapport annuel (consommation de fluides frigorigènes) 426

Ratio
Puissance frigo. en fonction de la surface à climatiser 182
Intensité absorbée par un condensateur par µF 373
Choix de la surface de panneaux solaires à installer 531
Relation entre débit d'eau, puissance et Delta T sur l'eau 549
Évaluation des déperditions d'une villa 556
Calcul de la puissance d'une chaudière selon les déperditions 556
Surface nécessaire des capteurs horizontaux (PAC eau/eau) 630
Profondeur nécessaire des capteurs verticaux (PAC eau/eau) 643

Réactance
Inductive pour abaisser une tension 387

Récupération
Des fluides frigorigènes 413
Bouteille de récupération 414
Groupe de transfert (station de récupération frigo) 415
Procédure de récupération en gaz (circuit frigo) 416
Givrage pendant la récupération en gaz (circuit frigo) 418
Pression d'arrêt du groupe de transfert (circuit frigo) 418
Purge du groupe de transfert (circuit frigo) 419
Récupération en liquide (circuit frigo) 420
Comment faire un appoint de charge en fluide frigo ? 421
Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes 425
Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène 426
Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 426
Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
Durée des épreuves selon le niveau de certification 431
Bac de récupération de l'eau glycolée (circuit solaire) 530
Risques de gel en récupérant du fluide (PAC air/eau ou eau/eau) 681

Recyclage
D'air froid sur l'évaporateur (climatiseur) 293
D'air chaud sur le condenseur (climatiseur) 313
Du R22 (réglementation) 425
Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène 426
Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 426
Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
Durée des épreuves selon le niveau de certification 431
Risques de recyclage de l'eau sur une nappe phréatique 673

Redressé
Courant redressé simple alternance 385
Courant redressé double alternance 386

Refoulement
D'un compresseur à pistons 76
Clapet de refoulement du compresseur à pistons 76
Température et pression de refoulement (circuit frigo) 81
Tube de refoulement (circuit frigo) 114
Limitation de la température de refoulement (Inverter) 404
D'une pompe (hydraulique) 447
D'eau dans une nappe phréatique 673

Réfrigérant
Fluide frigorigène + eau = acide 123
Problèmes soulevés par les nouveaux fluides 254
Charge en fluide avec du R407C et avec R410A 268
Manque de charge en fluide, analyse complète (climatiseur) 284
Panne du manque de charge : recherche des fuites 287
Panne de l'excès de charge en fluide (climatiseur) 316
Principales familles de pannes frigorifiques 332
Exemple de panne du manque de charge sur un split au R410A 334
Exemple de panne du manque de charge sur un split au R407C 342
Exemple de panne de l'excès de charge sur un split au R407C 344
Puissance frigorifique en fonction du débit de fluide (Inverter) 390
Comment faire un appoint de charge en fluide frigo ? 421
Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes 425
Interdiction des fluides à fort GWP 425
Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène 426
Rapport annuel (consommation de fluides frigorigènes) 426
Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo 426
Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428
Durée des épreuves selon le niveau de certification 431
Panne du manque de charge (PAC air/eau - bi-flow - R410A) 584
Excès de charge ou incondensables (PAC air/eau - R410A) 586
Panne du manque de charge sur une PAC air/eau - R407C 606
Panne de l'excès de charge ou des incond. PAC air/eau - R407C 618
Panne du manque de charge (PAC eau/eau - R407C) 650
Panne de l'excès de charge ou des incond. (PAC eau/eau - R407C) 660
Installation en fonctionnement normal (PAC eau/eau - R407C) 662
Fluide : voir R + n° du fluide (par exemple R410A)
Voir : récupération

Réfrigérateur
Rôle 11
Que se passe-t-il dans le freezer du réfrigérateur ? 64
Condenseur à air du réfrigérateur 73
Détendeur capillaire 84
Résumé du fonctionnement 99
Du réfrigérateur au climatiseur 104
Utilisé pour climatiser un bureau 106

Refroidissement
Sous refroidissement du liquide à la sortie du condenseur 140

Registre
Des interventions sur le circuit frigorifique 282

Réglage
Réglage et mesure du débit sur une clarinette 479
Té de réglage sur un radiateur 484

Règle
Des 3D : *voir bouteille casse pression*
Voir : relation

Réglementation
- Réglementation Européenne contrôle d'étanchéité des installations . . . 282
- Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes . . . 425
- Interdiction des fluides à fort GWP . . . 425
- Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène . . . 426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo . . . 426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques . . . 428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification . . . 431
- De l'eau glycolée . . . 495
- Température maxi de distribution de l'eau sanitaire . . . 527
- Des températures (circuit plancher chauffant) . . . 536
- Forage pour sondes géothermiques verticales . . . 644
- Pour utiliser l'eau d'une nappe phréatique . . . 672

Réglage
- Réglage et mesure du débit sur une clarinette . . . 479
- De l'ECS par un mitigeur thermostatique . . . 529
- Du chauffage d'appoint (Pac air/eau) . . . 547
- Par arrêt du circulateur plancher (Pac air/eau) . . . 513
- Du chauffage par une vanne 3 voies (courbe de chauffe) . . . 572

Régulation
- Thermostat du climatiseur monobloc window . . . 113
- Télécommande du climatiseur . . . 195
- HP faible : régulateur de vitesse du ventilo-condenseur . . . 280
- Câblage du thermostat (climatiseur window) . . . 379
- De la HP par hachage de phase . . . 383
- De vitesse du compresseur (Inverter) . . . 390
- D'un Split Inverter 'Froid seul' . . . 404
- D'un Split Inverter réversible . . . 407
- D'un chauffe-eau électrique . . . 465
- D'une chaudière murale . . . 474
- Robinet thermostatique sur un radiateur . . . 485
- Régulation différentielle sur un circuit solaire . . . 520
- Du chauffage d'appoint (Pac air/eau) . . . 547

Relais
- De démarrage des moteurs monophasés . . . 374

Relation
- Relation pression température (explications) . . . 35
- Relation pression température de l'eau pure . . . 40
- Relation pression température du R410A . . . 53
- Relation pression température dans le condenseur . . . 138
- Entre la température extérieure et la HP . . . 147
- Relation pression température dans l'évaporateur . . . 167
- Entre la température ambiante et la BP (climatiseur) . . . 170
- Entre la puissance du climatiseur et la surface à climatiser . . . 182
- Entre la température de la ligne liquide et la temp. extérieure . . . 243
- Relation pression température du R407C . . . 260
- Compléments d'information sur le R410A . . . 266
- Relation pression température : le piège des incondensables . . . 320
- Relation entre tension d'alim et vitesse d'un moteur mono . . . 377
- Entre la fréquence du courant et la vitesse du moteur . . . 390
- Relation résistance température des sondes CTN et CTP . . . 400
- Équivalence entre bar, kPa et mCE . . . 436
- Relation entre pression et débit d'eau . . . 443
- Entre la puissance absorbée par une pompe et le débit d'eau . . . 450
- Entre la température de l'eau et sa densité . . . 463
- Entre débit d'eau, puissance et Delta T sur l'eau . . . 549

Suite page suivante

Relation (suite)
- Entre la température de l'eau et la HMT de la pompe . . . 554
- Entre le COP d'une PAC air/eau et la température extérieure . . . 558
- Entre la température extérieure et les déperditions d'un local . . . 558
- Entre la puissance d'une PAC air/eau et la temp. extérieure . . . 559
- Température extérieure de sélection d'une PAC air/eau . . . 559
- Entre la temp. extérieure et la temp. de départ eau chaude . . . 572
- Influence des pressions sur la puissance frigorifique . . . 679

Relative
- Pression relative et absolue . . . 42
- Manomètre du frigoriste . . . 55
- Humidité relative . . . 173

Remplissage
- Des bouteilles de récupération de fluide frigorigène . . . 414
- Comment faire un appoint de charge en fluide frigo ? . . . 421
- En eau d'un circuit solaire . . . 491
- Pression de remplissage en eau glycolée (solaire) . . . 514
- Remplissage rapide en eau glycolée d'un circuit solaire . . . 517
- Pression de remplissage d'un circuit plancher chauffant . . . 541

Renouvellement
- Trappe d'air neuf (climatiseur monobloc window) . . . 114

Répulsion
- Aimants et électro-aimants . . . 395

Réparation
- Réglementation Européenne contrôle d'étanchéité des installations . . . 282
- Réglementation Européenne sur les fluides frigorigènes . . . 425
- Agrément des entreprises manipulant du fluide frigorigène . . . 426
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo . . . 426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques . . . 428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification . . . 431
- *Voir : Dépannage*

Résistance
- Des enroulements d'un moteur monophasé . . . 365
- D'isolement d'un moteur neuf . . . 367
- De décharge d'un condensateur . . . 371
- CTP et CTN (sondes de température) . . . 398
- Dans un chauffe-eau électrique . . . 462
- D'appoint dans un chauffe-eau solaire . . . 529
- Chauffage d'appoint sur PAC air/eau . . . 546
- De dégivrage du bac à condensats (PAC air/eau) . . . 581

Résistant
- Couple résistant d'une machine . . . 377

Retard
- Zone de retard des manomètres BP . . . 59

Retenue
- *Voir : retour*

Retour
- Problème des retours d'huile . . . 220
- Clapet anti retour (climatiseur réversible avec 2 capillaires) . . . 350
- Retour d'huile de la bouteille anti coups de liquide . . . 357
- Importance des retours d'huile au compresseur . . . 399
- Clapet anti retour sur l'alim. en eau de ville d'un circuit . . . 461
- Disconnecteur sur réseau d'alimentation en eau de ville . . . 471
- Collecteur de départ et retour d'eau (Clarinette) . . . 478
- Emplacement du clapet anti retour (circuit solaire) . . . 507
- Clapet anti retour dans une PAC air/eau avec 2 détendeurs . . . 576

Réversible
- *Voir : climatiseur réversible*
- *Voir : pompe à chaleur*

Robinet
Robinet mélangeur d'un évier 15
Thermostatique sur un radiateur 485

Rosée
Température de rosée des fluides à fort glissement 260

Rotatif
Compresseur 204
Palette mobile non étanche (compresseur rotatif) 327

Rotation
Ventilo-condenseur tourne à l'envers 312
Sens de rotation d'une pompe 454

Rotor
Noyé (moteur d'un circulateur) 448
Pompe avec rotor bloqué 527

Run
Enroulement de marche d'un moteur monophasé 354
Condensateur de marche 368

- S -

Saison
Kit 'toutes saisons' (climatiseur) 280

Sale
Exemple d'évaporateur trop petit (filtre sale) sur un window 302
Exemple d'évaporateur trop petit (évapo sale) sur un window 306

Saturante
Vapeurs saturantes dans le condenseur 138
Vapeurs saturantes dans l'évaporateur 168

Saturé
Air saturé d'humidité 173

Savon
Pour la recherche des fuites 287

Schéma
Symboles pour représenter un circuit frigo 93

Schrader
Prise de pression à valve 230
Flexible à percuteur de valve 230

Scroll
Compresseur spiro-orbital 391

Sec
Température sèche de l'air (bulbe sec) 178
Influence de l'air sec sur le confort 186
Compresseur à pistons 'secs' 415
Nappe phréatique à sec 672

Secondaire
D'une bouteille casse pression 563
Débit primaire et secondaire (bouteille casse pression) 564

Sécurité
Soupape de sécurité d'une cocotte minute 39
Groupe de sécurité sur un chauffe-eau électrique 461
Thermostat de sécurité dans un chauffe-eau 465
Soupape de sécurité chaudière murale 471
Sécurité haute température sur une chaudière murale 482
Sécurité haute température sur un plancher chauffant 536
Pressostat de sécurité manque d'eau 542
Sécurités diverses sur un plancher chauffant 547
Sécurités diverses sur une PAC eau/eau 677

Sel
Sels entartrants 467

Sélection
De la puissance d'un petit climatiseur 182
De la surface de panneaux solaires à installer 531
Relation entre débit d'eau, puissance et Delta T sur l'eau 549
D'une PAC air/eau 559
Du diamètre des tubes en acier pour l'eau 592
Du diamètre des tubes cuivre pour l'eau 597

Sens
D'écoulement de la chaleur 17
De passage du fluide et de l'air sur un condenseur 131
De passage du fluide et de l'air sur un évaporateur 160
Clapet anti retour (climatiseur réversible avec 2 capillaires) 350
Déshydrateur bi-directionnel 358
Détendeur bi-directionnel 407
De rotation d'une pompe 454
D'écoulement d'une nappe phréatique 673

Sensible
Chaleur sensible 26
Puissance frigorifique sensible, latente et totale 185

Série
Pertes de charge en série ou en parallèle (hydraulique) 596

Serpentin
Dans un ballon solaire 489
Dans le condenseur d'une PAC air/eau 535

Serre
Effet de serre (GWP) 425

Servomoteur
De commande d'une vanne 3 voies (hydraulique) 571

Siège
Vanne de service en siège avant ou arrière (circuit frigo) 228

Sifflement
Du détendeur capillaire (circuit frigo) 119

Signalétique
Plaque signalétique d'un climatiseur 206
Plaque signalétique d'une PAC air/eau 548

Simple
Courant redressé simple alternance 385

Siphon
Sur l'évacuation des condensats 187
Fonctionnement de radiateurs en thermosiphon 503

Sol
Température du sol en hiver (PAC géothermique) 630
Température du sol en été (plancher rafraîchissant) 640
Voir : plancher chauffant

Solaire
CESI : Chauffe-eau solaire individuel 487
Remplissage en eau d'un circuit solaire 491
Test d'étanchéité d'un circuit solaire 495
Rayonnements infrarouges 495
Circuit solaire auto vidangeable 496
Problème du purgeur automatique 497
Fonctionnement en thermosiphon 504
Choix de l'emplacement de la pompe 505
Régulation de la pompe sur un circuit solaire 506
Choix de l'emplacement du clapet anti retour 507
Choix de l'emplacement des vannes d'isolement 509
Vase d'expansion trop gonflé 510
Vase d'expansion pas assez gonflé 511
Pression de gonflage du vase d'expansion 512

Suite page suivante

Solaire (suite)
- Pression de remplissage en eau glycolée (solaire) .514
- Influence de la température de l'eau glycolée de remplissage .516
- Purge du circuit avec une pompe auxiliaire .517
- Montage du vase d'expansion par rapport à la pompe .519
- Régulation du circuit solaire .520
- Puissance calorifique en fonction du Delta T sur l'eau .524
- Chauffage d'appoint sur un chauffe-eau solaire .529
- Bac de récupération sur la soupape de sécurité (solaire) .530
- Choix de la surface de panneaux solaires à installer .531
- Précautions à prendre pour installer les panneaux solaires .532

Sonde
- Des contrôleurs d'étanchéité d'un circuit frigo .282
- CTP et CTN (sondes de température) .398
- Rôle des différentes sondes sur un climatiseur Inverter .404
- Sonde de température en défaut (Inverter) .406
- Rôle des différentes sondes sur un Inverter réversible .408
- De limite haute température sur chaudière murale .482
- Pour réguler un circuit solaire .520
- Limite haute température sur un plancher chauffant .536
- Sonde de sécurité limite haute (plancher chauffant) .547
- Pour réguler une vanne 3 voies (chauffage) .572
- De dégivrage d'une PAC air/eau .580
- De limite basse temp. (plancher rafraîchissant) .641
- Géothermique (enterrées, verticale, pour PAC eau/eau) .644
- Sonde antigel (PAC eau/eau sur nappe phréatique) .677

Sonore
- Bruit des climatiseurs monobloc window .116
- Niveau sonore .199

Soupape
- De sécurité sur un chauffe-eau électrique .462
- De sécurité sur une chaudière murale .471
- Vase d'expansion trop gonflé (circuit solaire) .510
- Bac de récupération sur la soupape de sécurité (solaire) .530

Sous refroidissement
- Du liquide à la sortie du condenseur .140
- Différentes valeurs en fonctionnement normal (climatiseur) .174
- Température de la ligne liquide en fonction de la temp. extérieure .243
- Trop élevé (climatiseur) .251
- Trop faible (climatiseur) .252
- Mesure du S/R avec le R407C .263
- Mesure du S/R avec le R410A .267
- Delta T anormal sur la ligne liquide .271
- Faible, avec BP faible et surchauffe élevée (Climatiseur) .284
- Faible avec HP élevée (Climatiseur) .308
- Important avec HP élevée sur climatiseur (excès de charge) .316
- Important avec HP élevée sur climatiseur (incondensables) .322
- Principales familles de pannes frigorifiques .332
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R410A .334
- Exemple de panne du condenseur encrassé sur un split au R410A .336
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R407C .342
- Exemple de panne de l'excès de charge sur un split au R407C .344
- Mesure par la platine Inverter .404
- Sous refroidissement normal (PAC air/eau - R410A) .567
- Faible, BP faible, surchauffe élevée (PAC air/eau R410A) .584
- Important, HP élevée (excès de charge PAC air/eau R410A) .585

Suite page suivante

Sous refroidissement (suite)
- Faible avec HP élevée (PAC air/eau - R410A) .588
- Correct, BP faible sans Delta T ligne liquide (PAC air/eau) .591
- Correct, BP faible avec Delta T ligne liquide (PAC air/eau) .591
- Panne du manque de charge sur une PAC air/eau - R407C .606
- Panne du condenseur sale sur une PAC air/eau - R407C .612
- Panne de l'excès de charge ou des incond. PAC air/eau - R407C .618
- Panne du manque de débit d'eau sur une PAC air/eau - R407C .624
- Faible, BP faible, surchauffe élevée (PAC eau/eau R407C) .656
- Important, HP élevée (excès de charge PAC eau/eau R407C) .660
- Correct, BP faible sans Delta T ligne liquide (PAC eau/eau) .666
- Correct, BP faible avec Delta T ligne liquide (PAC eau/eau) .666
- Faible avec HP élevée (PAC eau/eau - R407C) .668

Spirale
- Fixe et mobile d'un compresseur Scroll .391

Spiro
- Compresseur spiro-orbital (Scroll) .391

Split
- Cycle frigorifique d'un climatiseur Split système froid seul .125
- Purge du circuit frigorifique après montage du split .233
- Principales familles de pannes frigorifiques .332
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R410A .334
- Exemple de panne du condenseur encrassé sur un split au R410A .336
- Exemple de panne de la prédétente sur un split au R407C .338
- Exemple de manque de débit d'air sur l'évapo d'un split au R410A .340
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R407C .342
- Exemple de panne de l'excès de charge sur un split au R407C .344
- Exemple de panne du compresseur trop petit sur un split au R410A .346
- *Voir : climatiseur (différents types)*

Start
- Enroulement de démarrage d'un moteur monophasé .354
- Condensateur de démarrage .368

Station
- Groupe de transfert (station de récupération frigo) .415

Statique
- Pression statique (hydraulique) .437

Stratification
- Des nappes d'eau chaudes à des températures différentes .463

Stylo
- Ébavureur .213

Surchauffe
- Vapeurs surchauffées dans le condenseur .134
- Dans l'évaporateur .166
- Valeurs en fonctionnement normal (climatiseur) .174
- Trop élevée (climatiseur) .249
- Trop faible .250
- Mesure avec le R407C .259
- Mesure avec le R410A .266
- Élevée, BP faible, delta T sur la ligne liquide (climatiseur) .271
- Élevée, BP faible, pas de delta T ligne liquide (climatiseur) .275
- Élevée, sous refroidissement et BP faibles (climatiseur) .284
- Faible, BP faible (climatiseur) .289
- Principales familles de pannes frigorifiques .332
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R410A .334
- Exemple de panne de la prédétente sur un split au R407C .338
- Exemple de manque de débit d'air sur l'évapo d'un split au R410A .340
- Exemple de panne du manque de charge sur un split au R407C .342
- Mesure par la platine Inverter .398

Suite page suivante

Surchauffe (suite)
- Variation avec la température ambiante .421
- Eau surchauffée .493
- Surchauffe normale (PAC air/eau - R410A) .567
- Influence sur la puissance d'une PAC air/eau .573
- Réglée par un détendeur thermostatique .574
- Emplacement du bulbe d'un détendeur bi-flow .579
- Élevée, sous refroidissement et BP faibles (PAC air/eau) .584
- Faible, BP faible (PAC air/eau - R410A) .586
- Élevée, S/R correct, BP faible (PAC air/eau - R410A) .591
- Panne du manque de charge sur une PAC air/eau - R407C .606
- Panne du détendeur trop petit sur une PAC air/eau - R407C .608
- Panne de l'évaporateur trop petit sur une PAC air/eau - R407C .620
- Panne de la prédétente sur une PAC air/eau - R407C .626
- Élevée, S/R et BP faibles (PAC eau/eau - R407C) .650
- Faible, BP faible (PAC eau/eau - R407C) .656
- Installation en fonctionnement normal (PAC eau/eau - R407C) .662
- Élevée, S/R correct, BP faible (PAC eau/eau - R407C) .666
- Influence de la température de l'eau (PAC eau/eau - R407C) .678
- *Voir : détendeur capillaire*
- *Voir : détendeur électronique*
- *Voir : Détendeur thermostatique*

Surface
- Importance sur la puissance de la surface d'échange .93
- Puissance frigo. en fonction de la surface à climatiser .182
- Choix de la surface de panneaux solaires à installer .531
- D'échange d'un radiateur basse température .568
- De capteurs horizontaux à installer (PAC eau/eau) .630

Suva 22
- *Voir : R22*

Symboles
- Pour représenter un circuit frigo .93

Switch
- *Voir : contrôleur de débit*

Swing
- Auto swing .196

- T -

Tachymétrique
- Générateur tachymétrique (Inverter) .393

Tangentiel
- Ventilateur .160

Tartre
- Entartrage d'un chauffe-eau électrique .467
- Détartrage d'une chaudière murale .477

Té
- De réglage sur un radiateur .484

Technicien
- Niveau de certification des intervenants sur un circuit frigo .426
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques .428
- Durée des épreuves selon le niveau de certification .431

Télécommande
- D'un climatiseur .195

Température
- De la paume d'une main .13
- D'ébullition de l'eau en fonction de la pression .33

Suite page suivante

Température (suite)
- Relation pression température (explications) .35
- Relation pression température de l'eau pure .40
- Relation pression température du R410A .53
- Température indiquée par le mano HP (R410A) .132
- Relation pression température dans le condenseur .138
- Evolution de la température de l'air sur le condenseur .145
- Evolution des températures dans le condenseur .147
- Température indiquée par le mano BP (R410A) .161
- Relation pression température dans l'évaporateur .167
- Evolution des températures dans l'évaporateur .170
- Paramètres en fonctionnement normal (climatiseur) .174
- Sèche et humide .178
- Température de la ligne liquide en fonction de la temp. extérieure .243
- Glissement de température des mélanges de fluide .258
- Température de bulle et de rosée du R407C .260
- Compléments d'information sur le R410A .266
- Relation pression température : le piège des incondensables .320
- Principales familles de pannes frigorifiques .332
- Sondes de température CTP et CTN .398
- Différentes mesures sur un Split Inverter .404
- Stratification des nappes d'eau chaudes selon la température .463
- Delta T normal sur l'eau (radiateurs) .480
- Thermostat limite haute température chaudière murale) .482
- Robinet thermostatique sur un radiateur .485
- Eau surchauffée .493
- Variation du Delta T en fonction du débit d'eau .523
- Température maxi de distribution de l'eau sanitaire .527
- Maximum de l'eau et du sol sur un planher chauffant .536
- Thermostat de sécurité limite haute (plancher chauffant) .547
- Relation entre débit d'eau, puissance et Delta T sur l'eau .549
- Variation de la HMT d'une pompe en fonction de la température .554
- Delta T total sur l'évaporateur (PAC air/eau) .557
- Variation des déperditions de chaleur selon la temp. extérieure .558
- Extérieure de référence pour sélectionner une PAC air/eau .559
- Températures en fonctionnement normal (PAC air/eau - R410A) .566
- Température d'apparition du givre .575
- Delta T normaux (PAC air/eau, détendeur bi-flow) .582
- Delta T normaux (PAC air/eau, détendeur bi-flow) .582
- Du sol en hiver (PAC géothermique, capteurs horizontaux) .630
- Sonde de limite basse temp. (plancher rafraîchissant) .641
- Delta T sur l'eau d'une nappe phréatique .672
- Thermostat antigel (PAC eau/eau sur nappe phréatique) .677

Tension
- D'alimentation .194
- Maximum aux bornes d'un condensateur .369
- Relais de tension (démarrage des moteurs monophasés) .374
- Induite dans l'enroulement de démarrage (moteurs monos) .375
- Relation entre tension et vitesse (moteurs monophasés) .377
- Maximum (Umax) en courant alternatif .382
- Maximum et tension efficace .384
- Courant redressé simple alternance .385
- Courant redressé double alternance .386
- De sortie d'une platine Inverter .390
- Variation de la tension continue pour faire varier la vitesse .393
- Phase, Terre et Neutre en monophasé .466

Terre
- Raccordement d'un appareil à la terre 194
- Enroulement moteur à la masse 367
- Condensateur à la masse 372
- Phase, Terre et Neutre en monophasé 466

Test
- De l'évacuation des condensats (climatiseur) 188
- D'une électrovanne 356
- Des enroulements d'un moteur 366
- D'un condensateur 370
- Mesure de la capacité d'un condensateur 373
- D'une sonde de température 400
- De remplissage d'une bouteille de récupération de fluide 414
- Test d'étanchéité d'un circuit solaire 495
- Pression de l'azote dans un vase d'expansion 500
- D'étanchéité d'un circuit plancher chauffant 536

Théorique
- Examen de contrôle des connaissances théoriques et pratiques 428

Thermique
- Bilan thermique (évaluation) 182
- Choc thermique 405
- Choix de la surface de panneaux solaires à installer 531
- *Voir : pompes à chaleur*

Thermistance
- Sonde de température CTN 400

Thermomètre
- Gradué en degrés Celcius 14

Thermosiphon
- Circuit de chauffage sans pompe 503

Thermostat
- D'un climatiseur monobloc window 113
- Câblage du thermostat d'un climatiseur window 379
- Sondes de température CTP et CTN 398
- De régulation et de sécurité d'un chauffe-eau électrique 465
- De limite haute température (chaudière murale) 482
- Régulation différentielle d'un chauffe-eau solaire 521
- Thermostat de sécurité limite haute (plancher chauffant) 547
- De régulation du chauffage d'appoint (Pac air/eau) 547
- De commande de la pompe (régulation radiateur) 568
- De commande de la pompe (plancher chauffant) 570
- Régulateur de chauffage 572
- De limite basse temp. (plancher rafraîchissant) 641
- Sonde antigel (PAC eau/eau sur nappe phréatique) 677

Thermostatique
- Robinet thermostatique sur un radiateur 485
- Mitigeur thermostatique sur l'eau chaude sanitaire 528
- Détendeur thermostatique (fonctionnement) 573

Tirage au vide
- Après montage d'un split 235
- Danger des percuteurs de flexible (manos du frigoriste) 236

Tiroir
- Mobile d'une vanne 4 voies d'inversion de cycle 348

Totale
- Puissance frigorifique sensible, latente et totale 185

Tourteau
- Décalage parallèle ou angulaire (accouplement pompe) 454

Transfert
- De chaleur 15
- Groupe de transfert (station de récupération frigo) 415

Transformateur
- D'intensité 406

Transformation
- Du courant alternatif en courant continu 385

Trappe
- D'air neuf (climatiseur monobloc window) 114

Triac
- Sur un hacheur de phase 383
- Sur une platine Inverter 389
- Commande d'un détendeur électronique 395

Triphasé
- Bornier des moteurs triphasés 365
- Utilisé avec une platine Inverter 392
- Moteur de pompe en mono ou triphasé 522

Trop plein
- D'un vase d'expansion ouvert (circuit solaire) 499

Tube
- Plongeur d'une bouteille de fluide frigorigène 51
- De refoulement et d'aspiration (circuit frigo) 114
- Liaison frigorifique entre les unités d'un split 209
- Tubes préchargés en fluide frigorigène 209
- Coupe tube et ébavurage 213
- Dudgeonnière 214
- Isolation des tuyauteries frigorifiques 222
- Tube pré-isolé 223
- Plongeur d'une bouteille de récupération de fluide frigo 414
- Gel des tuyauteries (hydraulique) 439
- Isolation des tuyauteries extérieures (circuit solaire) 532
- Polyéthylène réticulé (PER) utilisé pour les planchers chauffants 536
- Distance entre tubes d'un plancher chauffant 536
- Complément de charge en fluide (longues tuyauteries frigos) 548
- Sélection du diamètre des tubes en acier pour l'eau 592
- Sélection du diamètre des tubes en cuivre pour l'eau 597

Turbine
- D'un ventilateur tangentiel 160
- D'un ventilo patine sur son arbre 292
- D'une pompe 447

Tuyauterie
- *Voir : tube*

- U -

Unité
- Intérieure d'un split : notice technique 191
- Extérieure d'un split : notice technique 201
- Raccordement électrique entre les 2 unités (split système) 203
- Pré-charge à la livraison des unités (split système) 209
- Raccordement frigorifique entre les 2 unités 211
- Dénivelé entre les unités d'un split 218
- Précharge de l'unité intérieure à l'azote 228
- Contrôle des conditions normale de fonctionnement 242
- Emplacement de l'unité extérieure mal choisi (condenseur trop petit) 311
- Principales familles de pannes frigorifiques 332
- Emplacement des sondes de température (Inverter) 404
- Problème du dégivrage (appareils réversibles) 409
- Équivalence entre bar, kPa et mCE 436
- Givrage de l'unité extérieure d'une PAC air/eau 542
- *Voir : climatiseur (différents modèles)*

Usure
- D'un compresseur frigo au démarrage 399
- Des tourteaux de l'accouplement d'une pompe 454

UV
- Influence sur le calorifuge des tuyauteries extérieures 532

- V -

Valve
- Prise de pression à valve 'Schrader' 230
- De gonflage d'un vase d'expansion 500

Vanne
- Utilisation des vannes de service (circuit frigo) 228
- De service en siège avant ou en siège arrière 228
- Prise de pression avec ou sans valve (circuit frigo) 231
- Vanne liquide étranglée (climatiseur) 270
- La vanne 4 voies d'inversion de cycle 347
- Capillaire et électrovanne de la vanne 4 voies d'inversion de cycle 353
- De courant (hachage de phase) 383
- De service des bouteilles de récupération de fluide 414
- De vidange et de remplissage sur un chauffe-eau électrique 462
- Microvanne de réglage du débit sur une clarinette 479
- Manuelle sur purgeur automatique (circuit solaire) 497
- De service : choix de l'emplacement (circuit solaire) 509
- Mitigeur thermostatique sur l'eau sanitaire (circuit solaire) 528
- *Voir : détendeur électronique*
- *Voir : électrovanne*
- *Voir : vanne 3 voies*
- *Voir : pompe à chaleur*

Vanne 3 voies
- Diviseuse dans une chaudière murale 475
- Mélangeuse sur circuit hydraulique (fonctionnement) 476
- Régulation sur chauffage eau chaude 572

Vapeur
- D'eau 21
- Surchauffées dans le condenseur 134
- Saturantes dans le condenseur 138
- % de vapeurs à la sortie du détendeur 158
- Risques de vaporisation de l'eau glycolée (circuit solaire) 497

Vaporisation
- De l'eau 21
- Chaleur latente de vaporisation de l'eau 23
- Palier de vaporisation de l'eau 26
- Du R410A 61
- Palier de vaporisation 168
- Valeur de la BP en fonction de la température ambiante 170
- Glissement de température avec le R407C 259
- Glissement de température nul avec le R410A 266
- Risques de vaporisation de l'eau glycolée (circuit solaire) 497

Variation
- De la pression d'ébullition de l'eau 34
- Problème du glissement de température (circuit frigo) 258
- Moteur monophasé multi vitesses 377
- De vitesse par hachage de phase (moteurs monophasés) 383
- De fréquence (Inverter) 390

Suite page suivante

Variation (suite)
- Variation de la tension continue pour faire varier la vitesse 393
- Limites de la variation de vitesse d'un compresseur (Inverter) 399
- De la résistance d'une sonde en fonction de la température 400
- Variation de la HMT d'une pompe en fonction de la température 554
- Des déperditions de chaleur selon la temp. extérieure 558
- De la puissance d'une PAC air/eau selon la temp. extérieure 559
- Du COP en fonction de la temp. extérieure (PAC air/eau) 559
- Des Pertes de charge en fonction du débit d'eau 638

Vase
- Communicant (principe) 435

Vase d'expansion
- Sous pression d'azote (principe) 473
- Fonctionnement sur une automobile 498
- Choix du volume du vase (circuit solaire) 499
- Vase d'expansion ouvert (circuit solaire) 499
- Contrôle de la pression de l'azote 500
- Vase sous pression d'azote (fonctionnement détaillé) 501
- Vase trop gonflé (circuit solaire) 510
- Vase pas assez gonflé (circuit solaire) 511
- Détermination de la pression de gonflage (circuit solaire) 512
- Perte de pression par la membrane du vase d'expansion 513
- Pression de remplissage en eau glycolée (solaire) 515
- Emplacement par rapport à la pompe 519
- Pression de gonflage du vase (plancher chauffant) 540
- Pression de remplissage d'un circuit plancher chauffant 541

Ventilateur
- Ventilo-évaporateur (climatiseur) 122
- Ventilo-condenseur (climatiseur) 123
- Ventilateur hélicoïde, tangentiel et centrifuge 200
- Turbine du ventilo-évapo patine sur son arbre 292
- Hélice du ventilo-condenseur patine sur son arbre 310
- Ventilo-condenseur tourne à l'envers 312
- Prise d'air entre condenseur et ventilateur 313
- L'hélice du ventilo-condenseur est mal positionnée 314
- Exemple de manque de débit d'air sur l'évapo d'un split au R410A 340
- Moteur monophasé multi vitesses 377
- Étude d'un régulateur de vitesse du ventilo-condenseur 383
- Variation de la tension continue pour faire varier la vitesse 393
- Arrêt du ventilateur pendant un dégivrage (PAC air/eau) 576
- Panne de l'évaporateur trop petit sur une PAC air/eau - R407C 620

Verticale
- Sondes géothermiques 644

Vidange
- D'un groupe de transfert (circuit frigo) 419
- Circuit solaire auto vidangeable 496

Vide
- Absolu 42
- Tirage au vide après montage d'un split 235
- Danger des flexibles à percuteur 236
- Maximum obtenable par une pompe (hydraulique) 457

Viscosité
- De l'huile frigorifique 255

Vitesse
- De manœuvre des clapets sur un compresseur à pistons 79
- Du ventilateur intérieur (climatiseur) 195
- HP faible : régulateur de vitesse du ventilo-condenseur 280
- Moteur monophasé multi vitesses 377

Suite page suivante

Vitesse (suite)

Étude d'un régulateur de vitesse du ventilo-condenseur 383
Vitesse d'un moteur en fonction de la fréquence 390
Régulation de vitesse en utilisant du courant continu 393
Régulation de la vitesse du compresseur (Inverter) 398
Limites de la variation de vitesse du compresseur (Inverter) 389
Circulateur à vitesse variable 525
De l'eau dans les tubes en acier selon le diamètre 592
De l'eau dans les tubes en cuivre selon le diamètre 597

Voie

La vanne 4 voies d'inversion de cycle 347
Capillaire et électrovanne de la vanne 4 voies d'inversion de cycle 353
Voir : vanne 3 voies (hydraulique)

Volume

De dilatation de l'eau avec la température 461
D'un vase d'expansion (circuit solaire) 499
Du ballon d'eau chaude sanitaire (circuit solaire) 531

Volute

D'une pompe à eau 447

Voyant liquide indicateur d'humidité 667

- W -

Window

Exemple de panne du manque de charge sur un window 298
Exemple de prédétente sur un window 299
Exemple d'évaporateur trop petit (filtre sale) sur un window 302
Exemple de détendeur trop petit sur un window 303
Exemple d'évaporateur trop petit (évapo encrassé) sur un window 306
Exemple de fonctionnement normal (window) 307
Voir : climatiseur monobloc

- Z -

Zone

Zone de retard des manomètres BP 59
Différentes zones dans le condenseur 142
Différentes zones dans l'évaporateur 166
De surchauffe selon température de l'eau (PAC eau/eau) 678